

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR EN UN CULTIVO DE *Physalis peruviana* L.
(UCHUVA)

DIEGO MOLINA MONTENEGRO

TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito parcial
para optar al título de

Biólogo

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE BIOLOGIA

Bogotá D.C.
Junio de 2013

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR EN UN CULTIVO DE *Physalis peruviana* L.
(UCHUVA)

DIEGO MOLINA MONTENEGRO

APROBADO

Ingrid Schuler García, Ph.D.
Decana Facultad de Ciencias

Andrea Patricia Forero Ruíz, B.Sc.
Directora carrera de Biología

EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE BIOCHAR EN UN CULTIVO DE *Physalis peruviana* L.
(UCHUVA)

DIEGO MOLINA MONTENEGRO

APROBADO

Amanda Varela Ramírez, Ph.D.
Directora

Henry Yesid Bernal, M.Sc.
Jurado

NOTA DE ADEVERTENCIA

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vean en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

Artículo 23, resolución N°.13 de 1946.

A mis padres Héctor y Martha

Y a mi hermano Mauricio.

Agradecimientos

Doy infinitas gracias a la compañía C.I. Andes Export Company S.A.S quien en cabeza de su propietario, el Sr. Johan Beckers, financió en gran medida el proyecto de grado, ofreció el espacio necesario para el desarrollo del mismo y la consecución de este anhelado logro. Doy gracias a la Pontificia Universidad Javeriana por la educación integral y completa que recibí a lo largo de toda la carrera; a mi directora de grado, Amanda Varela, quien más que una docente fue una mano amiga en todo mi proceso educativo. Mil agradecimientos a todos aquellos profesores que me aconsejaron y me dieron todo su apoyo en los momentos difíciles. A mis amigos y allegados, a todos los que de una u otra forma me han acompañado en este gran reto personal, millones de gracias. Y por supuesto, millones de gracias a mis padres y a mi hermano, quienes con apoyo, su cariño y un inmenso esfuerzo han hecho de este sueño una realidad.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	2
1. Introducción	3
2. Justificación y planteamiento del problema	5
3. Marco teórico	7
3.1. El suelo	7
3.2. Estado y uso del suelo	8
3.3. La uchuva (<i>Physalis peruviana</i> L.)	8
3.4. Conceptualización del problema de investigación	9
4. Objetivos	13
4.1. Objetivo general	13
4.2. Objetivos específicos	13
5. Metodología	13
5.1. Área de estudio	13
5.2. Diseño de estudio de campo	14
5.3. Preparación del biochar	14
5.4. Pruebas fisicoquímicas del suelo	14
5.5. Pruebas microbiológicas	15
5.6. Evaluación de crecimiento en la planta de uchuva	16
5.7. Análisis estadístico	16
6. Resultados	17
6.1. Resultados fisicoquímicos del biochar	17
6.2. Resultados fisicoquímicos del suelo	17
6.3. Resultados microbiológicos del suelo	22
6.4. Resultados del crecimiento de la planta de <i>Physalis peruviana</i> L. (uchuva)	26
6.5. Resultados de relación entre variables	29
7. Análisis y discusión	29
8. Conclusiones	36
9. Recomendaciones	37
10. Referencias bibliográficas	37
11. Anexos	42
Anexo 1. Propiedades fisicoquímicas del suelo	42
Anexo 2. Consideraciones generales del IGAC para el análisis químico del suelo	43
Anexo 3. Análisis microbiológico del suelo	44

RESUMEN

El biochar es un producto de procesos bio-económicos; éste favorece la fertilidad del suelo, mejora la disponibilidad de nutrientes, el crecimiento y reproducción de microorganismos y mitiga los efectos del cambio climático al aumentar el secuestro de carbono en el suelo. El objetivo de este estudio experimental fue establecer el efecto del biochar incorporado al suelo en la etapa temprana de un cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Se evaluó la aplicación de biochar en concentraciones de 3.5 y 8 ton ha⁻¹ en el suelo de un cultivo de uchuva en Santa Rosa de Viterbo – Boyacá. Se realizó un muestreo 51 días antes de siembra y otro a los 56 días después de siembra (dds) y se analizaron propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo en los diferentes tratamientos. Se realizaron 3 muestreos dds (2, 31 y 56 dds) para las variables de crecimiento vegetal (volumen, índice de esbeltez, número de tallos y floración). El biochar se aplicó 15 días antes de la siembra. De las propiedades fisicoquímicas sólo el pH del suelo presentó diferencias significativas ($P<0.05$) estando el valor alto en el control (pH:6.2). De las propiedades microbiológicas sólo la abundancia de microorganismos celulolíticos tuvo diferencias entre los tratamientos ($P<0.05$) siendo el valor más alta entre los tratamientos de fertilización orgánica y control (5.6 log UFC/g). Se identificó la presencia de hongos fitopatógenos tales como: *Fusarium* sp., *Rhizoctonia* sp. y *Verticillium* sp. Respecto al crecimiento el mayor número de tallos y de floración se presentó en el tratamiento de “biochar 3.5 ton ha⁻¹ (3 y 15 respectivamente). La evaluación del efecto del biochar en los dos primeros meses del cultivo de la uchuva fue muy corta para encontrar diferencias entre las variables fisicoquímicas, de crecimiento vegetal e inclusive en variables que cambian muy rápidamente como las microbiológicas. Los estudios con biochar realizados con anterioridad han planteado cambios significativos en el suelo y en el crecimiento de las plantas a largo plazo. Se recomienda que este trabajo se pueda prolongar por lo menos uno o dos años más con el fin de analizar el efecto del biochar hasta las últimas etapas fenológicas de la uchuva, así complementar la información de los resultados obtenidos

1. INTRODUCCIÓN

La Revolución Verde (RV) se dio a finales de los años 50's y comienzos de los 60's. Ésta revolución agrícola se caracterizó inicialmente por el surgimiento de cultivariedades de alto rendimiento de arroz y trigo (Evenson & Gollin, 2003). Como consecuencia de la RV se incrementó el control de los cultivos basados en su genética, la fertilización química y el riego, y el control de plagas a través de plaguicidas químicos (Tilman, 1999). Si bien esta revolución favoreció de alguna forma la demanda alimenticia a nivel mundial debido al incremento en la producción agrícola, también conllevó a la contaminación de aguas subterráneas, al aumento de la liberación de gases de efecto invernadero, a la pérdida de diversidad genética de los cultivos y la eutrofización de ríos, lagos, zonas costeras y ecosistemas marinos; además ha tenido incidencia en la pérdida de la fertilidad del suelo, la aparición de enfermedades en los cultivos y a la erosión del suelo (Tilman, 1998). De hecho para 1993 se calculó que entre 5 y 7 x 10⁶ ha de tierras cultivadas a nivel mundial se perdían al año debido a la degradación de los suelos (Saouma, 1993).

En Colombia el modelo de desarrollo agrícola en los últimos 20 años ha estado ligado al modelo planteado en la RV. Esto llevó a un incremento en el uso de plaguicidas y la adquisición de maquinaria agrícola (Leon & Rodríguez, 2002). Además se han presentado efectos adicionales tales como desertificación de tierras, cambios en el uso del suelo, intoxicación humana, pobreza y exclusión social; éste último debido a la inversión del capital privado y la incursión de grandes propietarios lo que desplazó en gran medida al campesino tradicional (Leon & Rodríguez, 2002).

Para revertir el modelo de la RV se requiere por ejemplo de una labranza mínima, un riego informal, reducción de fertilizantes y plaguicidas químicos y la utilización de abonos orgánicos (Leon & Rodríguez, 2002). Teniendo en cuenta lo anterior, surgen preguntas como: ¿Qué modelos se necesitan implementar en la agricultura para hacer de ésta una agricultura sostenible? ¿Cómo se recuperarán los suelos infértiles, erosionados o afectados debido al auge de la RV para ser reutilizados en agricultura sostenible? ¿Qué tiempo se requiere para dicha recuperación e implementación de los nuevos modelos?, entre otras.

Una de las posibles alternativas para revertir los efectos del modelo de RV es la Bioeconomía. Ésta, en términos de desarrollo sostenible, es la transformación eco-eficiente de los recursos biológicos renovables en productos de alimentos, energía y otros industriales (Levidow & Keynes, 2012). La Bioeconomía involucra tres elementos principales: el conocimiento biotecnológico, la biomasa renovable y la integración entre el conocimiento y la aplicación biotecnológica (OECD, 2009). La biomasa, la cual incluye toda clase de desperdicios orgánicos, es usada como un sustituto de combustibles fósiles y como recurso económico el cual

debe ser extraído y transformado (Levidow & Keynes, 2012). Al concepto de biomasa renovable se vincula otro concepto: el biochar.

El biochar es el producto de la degradación térmica de materia orgánica en ausencia de aire (la pirólisis). Éste se encuentra enmarcado dentro de cuatro objetivos complementarios y sinérgicos: 1) manejo de residuos, 2) mitigación del cambio climático, 3) producción de energía y 4) mejoramiento del suelo (Lehmann & Joseph, 2009). Diversos estudios manifiestan que el biochar favorece la fertilidad del suelo, aumenta el secuestro del carbono e incrementa la retención de agua, entre otros beneficios (Lehmann *et al.*, 2011). En Colombia aún faltan estudios relacionados con la aplicación del biochar que permitan el establecimiento de éste como enmienda orgánica, con el fin de analizar si puede favorecer o no la productividad de los cultivos y el mejoramiento en la calidad del suelo.

Desde los años noventa el cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) se ha ido fortaleciendo en el país como una alternativa rentable para los agricultores colombianos (Angulo, 2005). En el 2011 el país figuraba como el primer productor mundial de uchuva, seguido de Sudáfrica (Proexport, 2011). Durante enero y agosto del 2007 en Colombia la uchuva fue la fruta tropical nativa de la región andina de mayor exportación, concentrando el 75.2% del mercado (Legiscomex, 2008). Aproximadamente 130 productores de uchuva en Boyacá ya están certificados con el sello internacional Fairtrade. Este sello garantiza un proceso de certificación de productos de acuerdo con criterios de Comercio Justo (Fairtrade International, 2011). Lo anterior implica que la producción de la uchuva ha mejorado con las buenas prácticas agrícolas (BPA) incrementando a su vez su posicionamiento a nivel mundial y estableciendo mejores precios en dicho mercado (Proexport, 2011).

A medida que en Colombia crece el mercado de exportación de la uchuva aumentan los requerimientos internacionales para la recepción y distribución de esta fruta en los países destino. Estas exigencias están enmarcadas en las BPA necesarias para obtener certificaciones internacionales como por ejemplo el sello Fairtrade (Proexport, 2011). Uno de los principales requisitos en las certificaciones es la fertilización orgánica (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2007), la cual está cada vez más asociada a los procesos inmersos en la Bioeconomía. Los fertilizantes orgánicos se pueden obtener a partir de la utilización de biomasa para su producción, un ejemplo de esto es el biochar (Lehmann & Joseph, 2009).

El objetivo de este estudio experimental fue establecer el efecto del biochar incorporado al suelo en la etapa temprana de un cultivo de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). Este trabajo se basó en la realización de un estudio experimental en el cual se utilizó biomasa (residuos de madera y de uchuva) para la producción de biochar como una fuente alternativa de enmienda y fertilización orgánica en el suelo, en una etapa temprana de un

cultivo de uchuva en Santa Rosa - Boyacá. El biochar obtenido se incorporó al suelo antes del trasplante de la uchuva, con el fin de analizar antes y después de la siembra, características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo; además se evaluó el crecimiento del cultivo (índice de esbeltez y volumen de la planta) con la aplicación del biochar. Se evaluaron dos concentraciones de biochar (3.5 ton ha^{-1} y 8 ton ha^{-1}) en comparación con otro tipo de fertilización orgánica (humus líquido y sólido) y con un control sin ningún tipo de fertilización. Se valoraron 135 plantas distribuidas en los cuatro tratamientos con cuatro repeticiones por tratamiento. Se establecieron 16 parcelas al azar con similar número de plantas por parcela. El muestreo se realizó durante los dos meses siguientes a la siembra, es decir en la etapa temprana del cultivo. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron en el Instituto Agustín Codazzi y la evaluación de crecimiento de la planta se realizó directamente en campo.

2. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la década de los 60's Colombia adoptó el modelo de la Revolución Verde. Éste trajo consigo cambios significativos en el área de siembra a nivel nacional, además generó grandes variaciones en la productividad de los cultivos, en el uso de agroquímicos, en la mecanización agrícola, en el área irrigada y en la aparición de la transgénesis. Adicionalmente se generaron afectaciones al ambiente ligadas principalmente al suelo tales como: conflicto en el uso de éste, erosión, salinización y compactación, uso de plaguicidas y fertilizantes de síntesis química, entre otros (Leon & Rodríguez, 2002). Cada variación en la agricultura que se dio con la revolución verde y que en su momento fue visto como mejora (mecanización de cultivos, fertilización química, entre otras) repercutió en el desplazamiento de la mano de obra campesina y por lo tanto en una consecuente disminución en las posibilidades de trabajo (Giraldo, 2010).

Tan sólo entre 1950 y 1975, en las zonas donde se implementó la mecanización y el uso de tecnologías modernas se generó un incremento en el área cultivada de 931 mil ha (Araya & Ossa, 1976). Así mismo, entre 1960 y 1971 el uso de fertilizantes químicos se triplicó a una tasa de crecimiento promedio anual de 9.8% (Kalmanovitz, 1978). Estos dos aspectos han deteriorado a lo largo del tiempo el suelo. Tanto la mecanización como el laboreo generaron una compactación del suelo, disminuyendo así su utilidad. Dicha compactación ocasiona principalmente un incremento en la densidad del suelo y una disminución en la porosidad, lo que genera a su vez una reducción en la cantidad de agua y de nutrientes disponibles para las raíces. Por otro lado, la fertilización química excesiva ha generado contaminación tanto de aguas superficiales y profundas por nitratos y fosfatos como acumulación de metales pesados en el suelo, los cual, luego se hace evidente en las plantas (Porta, López-Acevedo, & Roquero, 1999).

Existen diferentes alternativas de agricultura las cuales buscan contrarrestar los efectos de la revolución verde; una de ellas es la agricultura orgánica. Ésta pretende incrementar y conservar a largo plazo la fertilidad del suelo, controlar la erosión, producir alimentos con alta calidad nutricional, evitar al máximo la contaminación en el suelo y en el agua, favorecer los ciclos biológicos y en lo posible utilizar recursos renovables (Porta *et al.*, 1999). Uno de los elementos clave de la agricultura orgánica es la presencia de normas de producción y procedimientos de certificación (FAO, 2001). Dichas certificaciones han abierto muchos mercados externos para diversos frutos colombianos; uno de ellos es el de la uchuva.

Colombia se ha convertido en el primer productor mundial de la uchuva (Proexport, 2011). Para el 2007, éste fruto ya estaba establecido como el de mayor exportación en el país con unas ventas superiores a los USD25 millones (Legiscomex, 2008). Cada vez son mayores los retos en la agricultura orgánica de la uchuva que conlleva a optimizar las prácticas agrícolas, de tal forma que se asegure la satisfacción del consumidor final, en su mayoría extranjero.

En la actualidad, según los productores de la uchuva, existen varios problemas ligados a todo el proceso de producción de la uchuva. Uno de ellos hace referencia a los suelos en donde se está cultivando, pues éstos no son del todo los mejores para la siembra; generalmente son suelos ácidos, en su mayoría arenosos y poco fértiles. Lo anterior conlleva a una alta inversión en el cultivo debido a la gran cantidad de fertilización y enmiendas orgánicas que se debe aplicar para mantener los suelos en estado óptimo, limitando de cierta forma el rendimiento del cultivo. Otro problema es el manejo de los desperdicios que se generan de la uchuva con su respectivo capacho al momento de seleccionar la fruta de exportación; en general no hay buenos planes de manejo de residuos lo que conlleva a que se desaproveche la biomasa.

Teniendo en cuenta lo anterior, este estudio experimental incursionó en el campo de la Bioeconomía, buscando la recuperación de biomasa (madera y residuos de la uchuva) para la obtención de biochar como un componente de adición al suelo en pro de ser útil como enmienda y fertilizante orgánico. Dentro de los estudios realizados con biochar, no se encontró información relacionada a la aplicación de éste en suelos con cultivos de la uchuva. Por lo tanto, se generó la siguiente pregunta de investigación: ¿Existen diferencias en la calidad del suelo y en el crecimiento de un cultivo de la uchuva al aplicar en el suelo biochar en comparación con suelos sin biochar? Para responder esta pregunta se evaluaron durante los dos primeros meses después de siembra variables fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y adicionalmente se evaluó el crecimiento del cultivo de la uchuva. Para responder esta pregunta se evaluaron durante los dos primeros meses después de siembra variables fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y adicionalmente se evaluó el crecimiento del cultivo de la uchuva.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. El Suelo

El suelo es la capa superficial de la tierra que comprende sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, la cual se ha ido transformado en el tiempo por medio de la acción meteorológica, de la vegetación y por el ser humano (FAO, 2002; USDA, 2010). Por otra parte el suelo es considerado como un cuerpo natural con propiedades que sirven para establecer su origen y su clasificación sin tener en cuenta sus usos posibles; además es visto como el soporte de las plantas, es decir, desde un punto de vista más práctico, con fines agrícolas (Jaramillo, 2002). El suelo presta gran número de servicios ecosistémicos enmarcados en tres grandes grupos: aprovisionamiento, regulación y cultural (Powlson *et al.*, 2011). Varias de las funciones asociadas a tales servicios son el proporcionar una superficie estable para las actividades naturales y humanas, como la agricultura, absorber agua favoreciendo la conservación de la vegetación, mejorar la calidad del agua mediante la regulación de las transformaciones y movimientos de nutrientes, brindar un hábitat para la biota del suelo (microorganismos), representar una alta fuente de biodiversidad y, proporcionar reservas de nutrientes con materia orgánica y componentes minerales, que luego son liberados en forma disponible para las plantas a diferentes velocidades (Powlson *et al.*, 2011).

La calidad del suelo se refiere a la capacidad de éste para realizar sus funciones. Entendido de otra forma, es la capacidad del suelo para producir biomasa, filtrar el agua, almacenar nutrientes, participar en el ciclaje de los elementos, entre otros. (Lal & Shukla, 2004). La calidad del suelo es *“la capacidad del suelo de funcionar dentro de los límites del ecosistema para sostener la productividad biológica, mantener la calidad del medio ambiente y promover la sanidad vegetal y animal”* (SSSA, 2013). Generalmente la calidad del suelo es evaluada con la medición de un grupo de datos y propiedades del mismo con el fin de estimar la capacidad de sus funciones básicas como el suministro de nutrientes y el almacenamiento de agua. Los indicadores de calidad y salud del suelo son propiedades tanto positivas como negativas que determinan la función y la utilización del mismo (Pinzón, 2010). Las propiedades que se evalúan son físicas, químicas y biológicas, y las interacciones entre dichas propiedades. Las propiedades físicas hacen relación a la textura del suelo, la densidad, la porosidad, la humedad, entre otros. Las propiedades químicas se refieren a la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico, el pH, la conductividad eléctrica, mientras que las propiedades biológicas incluyen la biota del suelo, su diversidad microbiana, la fijación biológica de nitrógeno, micorrizas, entre otros (Jaramillo, 2002; USDA, 2009).

3.2. Estado y uso del suelo

En los últimos años se han generado cambios en el uso del suelo, en buena parte debido a la competencia por tierras de primera calidad ocasionada por la utilización del suelo para obtención de biocombustibles y la producción de alimentos (FAO, 2011). Además la producción agrícola en general no sólo ha sido afectada por el cambio del uso de suelo, sino también por varias limitantes tales como la disponibilidad de agua que disminuye constantemente, el aumento en la degradación de ecosistemas y la acumulación de sedimentos debido a la erosión del suelo, entre otros, generando así pérdida de la calidad del suelo (FAO, 2011). La labranza excesiva que se realizó a lo largo de muchos años y el uso inadecuado de agroquímicos también ha ocasionado deterioro significativo en el suelo, llevándolo en la mayoría de casos a ser más vulnerable a la erosión (Huggins & Reganold, 2008). Además estos autores exponen que en principio la labranza pretendía facilitar la colocación de semillas, controlar plantas arvenses, hacer el suelo más poroso y facilitar la absorción de agua, entre otros aspectos; sin embargo este proceso ya no es útil debido al daño del suelo y la pérdida de fijación de carbono.

En el mundo entero se cultivan cerca de 150000×10^6 ha, de las cuales menos de 100×10^6 se trabajan con técnicas sin labranza; esto ha ocasionado que el carbono y la fertilidad del suelo estén en constante deterioro (Gore, 2010). En gran medida, como consecuencia de las malas prácticas agrícolas incluyendo la labranza excesiva, en Colombia se han generado cambios significativos en el uso del suelo. Por ejemplo, una parte importante de la actividad agrícola se ha visto reemplazada por la pecuaria. Para el año 2009 en Colombia la distribución porcentual de la superficie destinada a la agricultura era de 9.45%, actividades pecuarias 73.39% y bosques y otros usos del 17.16% (DANE, 2009). Tan sólo dos años después la agricultura presentó una disminución en su superficie llegando a 7.7 %, la actividad pecuaria aumentó a 77.5 % y los bosques y otros usos cayeron a 14.8 % (DANE, 2011).

3.3. La Uchuva (*Physalis peruviana* L.)

Physalis peruviana L. pertenece a la familia Solanaceae, subfamilia Solanoideae, tribu Physaleae y subtribu Physalinae. Sus nombres comunes en español son: uvilla, capulí y alquequenje. Su origen es de América del sur (Venezuela, Colombia, Bolivia, Perú y Ecuador), aunque se encuentra naturalizada en África, Asia, Australia y Europa y es ampliamente cultivada. *Physalis peruviana* es una planta ornamental y una fruta de consumo humano, además se ha planteado que es tóxica para algunos vertebrados (USDA, 2013).

La especie *Physalis peruviana* (uchuva) es la más conocida dentro del género y está caracterizada principalmente por su fruto azucarado el cual es rico en vitamina A y C, hierro y fósforo. Es un arbusto, perenne, con hojas

pubescentes y en forma de corazón; generalmente llegan a una altura de aproximadamente 1.5 m; si se realizan podas a las plantas y se colocan soportes (tutorado) la planta puede alcanzar los 2 m. Las flores son amarillas y en forma de campana. Los frutos son bayas amarillas casi redondas que miden entre 1.25 y 2.5 cm de diámetro y pueden pesar entre 4 y 10 g (Ligarreto, Lobo, & Correa, 2005). En Colombia la uchuva se puede cultivar entre los 1500 y 3000 m.s.n.m., a una temperatura promedio entre los 13° y 18°C. Además este cultivo requiere de una humedad relativa cercana al 70 u 80%. El pH del suelo debe estar entre 5.5 y 7.0 y debe contener buena cantidad de materia orgánica (Zapata, Saldarriaga, Londoño, & Díaz, 2002). La precipitación de lluvia anual favorable para la producción de la uchuva debe oscilar entre 1000 y 2000 mm (Fischer, 2000).

Las etapas fenológicas de la uchuva empiezan con su siembra en germinadores; 10 a 25 días después de siembra se da la germinación; de 20 a 30 días posteriores se realiza el trasplante a bolsa. Se esperan aproximadamente dos meses más y se realiza el trasplante al sitio definitivo del cultivo. Aproximadamente dos meses después ocurre la floración y al mes de ésta empieza la fructificación. Al mes y medio siguiente ocurre la maduración del fruto y dos meses y medio después se puede empezar a cosechar. La cosecha se realiza en forma continua alrededor de un año y medio hasta que es necesario erradicar el cultivo y volver a empezar de nuevo (Miranda, 2005).

Del año 1999 al 2003, el área cultivada de la uchuva en Colombia pasó de 221 ha a 534 ha, siendo el departamento de Cundinamarca el más productivo con un rendimiento aproximado de 19 t ha⁻¹, seguido por el departamento de Boyacá con un rendimiento promedio de 15 t ha⁻¹ (Sanabria, 2005) y con una tasa de crecimiento anual del 25.2% (Corporación Colombiana Internacional, 2006). Para el 2011, Colombia aparecía como el primer productor mundial de la uchuva, seguido de Sudáfrica (Proexport, 2011). Durante el 2007 en Colombia la uchuva fue la fruta de mayor importancia en el país con una exportación de 8024 ton seguida del banano bocado con 5167 ton exportadas (Legiscomex, 2008). Entre enero y junio de 2004 las exportaciones de uchuva fueron superiores a los US\$7 millones, siendo Alemania el principal destino con US\$2.1 millones, seguido por Países Bajos con US\$2.0 millones. En general el 96% de las exportaciones de la uchuva tienen como principal destino Europa y el 4% restante, Estados Unidos y Canadá (Mejía, 2005).

3.4. Conceptualización del problema de investigación

En la actualidad existen alternativas en los procesos agrícolas que pueden optimizar la productividad de los cultivos, disminuir los costos de manejo, y mantener y mejorar la fertilidad y la diversidad de microorganismos en los suelos. Dentro de esas alternativas están la agricultura sin labranza y el enriquecimiento de los suelos con fuentes naturales de nutrientes; éste último está encaminado a la implementación de técnicas de regeneración orgánicas del suelo (Gore, 2010). La utilización de biochar en el suelo hace parte de esas técnicas

de recuperación. Hasta el momento el biochar ha tenido gran acogida mundialmente, debido a que se ha identificado que su utilización restituye en el suelo el contenido de carbono, contribuye a que el suelo retenga nutrientes y agua, favorece el crecimiento y reproducción de importantes microorganismos como bacterias, actinomicetes y hongos micorrízicos arbusculares, entre otros (Thies & Rillig, 2009). Al parecer las partículas de biochar en sí mismas no son sustrato para el metabolismo microbiano; sin embargo estos autores plantean que es a partir de bio-aceites adsorbidos a la superficie del biochar que se puede dar el crecimiento y la reproducción microbiana. Además se ha establecido que la utilización de biochar en el suelo mejora la adsorción de carbono orgánico disuelto (DOC) y nutrientes inorgánicos, lo que puede influir en la abundancia, diversidad y actividad de los organismos del suelo (Thies & Rillig, 2009). Uno de los estudios realizados en los llanos orientales de Colombia mostró que una sola aplicación de biochar (8 t ha^{-1} y 20 t ha^{-1}) mejora el rendimiento del cultivo de maíz después del primer año de aplicación; además se aumentó la disponibilidad de Ca, Mg y K (Major *et al.*, 2010). En otro estudio también en los llanos orientales del país se obtuvo que al aplicar biochar en el suelo se redujo la lixiviación de nutrientes (p.ej. Ca Mg y Sr), lo que favoreció la retención y posterior absorción de nutrientes por parte de la planta de maíz (Major *et al.*, 2011).

Para el 2011 en diferentes partes del mundo se habían realizado aproximadamente 14 ensayos con biochar en zonas tropicales y subtropicales (incluyendo Colombia), siendo las materias primas más utilizadas para su producción la gallinaza, la madera (acacia, pino), biosólidos, aguas residuales entre otros. Los cultivos en los cuales se ha utilizado el biochar principalmente en estos estudios han sido de arroz, trigo, rábano, maíz, tomate, soya y sorgo (Jeffery *et al.*, 2011). En Colombia se han realizado pocos estudios de aplicabilidad del biochar con fines de validar su actividad en el suelo como un posible reforzamiento y mejora de la productividad de los cultivos. Se han evaluado principalmente cultivos de maíz y arroz en los llanos orientales y en el Cauca, respectivamente. A través del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se han realizado algunos de los estudios más importantes relacionados con la aplicación del biochar; el CIAT en su página web reporta cuatro estudios en Colombia relacionados con la aplicación de biochar. Dichos estudios evalúan variables fisicoquímicas del suelo, lixiviación de nutrientes y rendimiento del cultivo, principalmente; los aspectos microbiológicos del suelo no han sido relacionados en dichos estudios. Por otro lado, los investigadores de la Universidad Nacional de Colombia ha venido realizando estudios relacionados con la obtención y posterior aplicabilidad del biochar en el suelo (Universidad Nacional de Colombia, 2010). Con respecto a la aplicación del biochar en los cultivos de la uchuva aún no se tienen estudios, y menos en zonas que superan los 2700 m.s.n.m., como en los cultivos actuales en el departamento de Boyacá. De aquí la importancia de incrementar las pruebas experimentales con biochar en cultivos, identificando así, el potencial de éste en procesos de agricultura sostenible.

Por lo anterior y como ya se señaló antes, para este estudio se estableció como principal pregunta de investigación: ¿Existen diferencias en la calidad del suelo y en el crecimiento de un cultivo de la uchuva al aplicar en el suelo biochar en comparación con suelos sin biochar? y se planteó la siguiente hipótesis que guió el proceso investigativo: El suelo abonado con biochar y humus durante dos meses genera mejores condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y favorece el crecimiento del cultivo de uchuva, en comparación con los suelos sin la adición de biochar.

El análisis correspondiente en esta investigación se realizó con base en las variables teóricas definidas relativas a las evidencias de las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y de la evidencia de las características del crecimiento de las plantas de la uchuva. En la Tabla 1 se muestra la operacionalización de las variables características fisicoquímicas para el análisis del empleo del biochar en un cultivo de la uchuva.

Tabla 1. Operacionalización de la variable evidencia fisicoquímica del suelo en un cultivo de *Physalis peruviana* L. (uchuva)

Factor o aspecto analizado	Variable teórica definida	Concepto	Indicadores de la variable empírica	Escala de variación
Características fisicoquímicas del suelo	Evidencia fisicoquímica del suelo	La evidencia fisicoquímica del suelo permite relacionar las condiciones internas del mismo con la disponibilidad de nutrientes y el crecimiento de las plantas.	Humedad	0-100%
			Densidad real	0-4 g/cm ³
			pH	0-14
			C orgánico	0-100%
			N total	0-100%
			Saturación de bases	0-100%
			CIC	0-100 cmol(+)/Kg
			Ca	0-100 cmol(+)/Kg
			Mg	0-100 cmol(+)/Kg
			K	0-100 cmol(+)/Kg
			Na	0-100 cmol(+)/Kg
			Mn	0-1000 mg/Kg
			Fe	0-1000 mg/Kg
			Zn	0-1000 mg/Kg
			Cu	0-1000 mg/Kg
			B	0-1000 mg/Kg
			P disponible	0-1000 mg/Kg

En la tabla 2 se presenta la operacionalización de la variable evidencia microbiológica para el análisis del empleo del biochar en el cultivo de la uchuva.

Tabla 2. Operacionalización de la variable evidencia microbiológica del biochar en un cultivo de *Physalis peruviana* L. (uchuva).

Factor o aspecto analizado	Variable teórica definida	Concepto	Indicadores de la variable empírica	Escala de variación
Características microbiológicas del suelo	Evidencia microbiológica del suelo	La evidencia microbiológica del suelo está ligada a la biomasa del suelo, a los ciclos biogeoquímicos de los elementos y a procesos relacionados con la nutrición vegetal, además permite analizar problemas fitosanitarios del cultivo.	• Abundancia de microorganismos fijadores de nitrógeno • Abundancia de microorganismos solubilizadores de fosfato • Abundancia de bacterias heterótrofas • Abundancia de bacterias tipo actinomicetos • Abundancia de hongos • Abundancia de microorganismos celulolíticos aerobios • Abundancia de coliformes totales • Abundancia de fecales como enterobacterias y <i>Escherichia coli</i> • Presencia de <i>Salmonella</i> • Identificación de hongos fitopatógenos	>= 0 UFC/g >= 0 UFC/g >= 0 UFC/g >= 0 UFC/g >= 0 UFC/g >= 0 UFC/g >= 0 NMP/mL ó g >= 0 NMP/mL ó g Detectado – no detectado

En la tabla 3 se presenta la operacionalización de la variable evidencia de las características del crecimiento de las plantas de la uchuva.

Tabla 3. Operacionalización de la variable evidencia del crecimiento de las plantas de *Physalis peruviana* L. (uchuva) en un cultivo con aplicación de biochar

Factor o aspecto analizado	Variable teórica definida	Concepto	Indicadores de la variable empírica	Escala de variación
Características de crecimiento de las plantas de <i>Physalis peruviana</i> L.	Evidencia de crecimiento de las plantas de <i>Physalis peruviana</i> L.	La evidencia de crecimiento de las plantas de <i>Physalis peruviana</i> L. en un cultivo con aplicación de biochar permite ver el reflejo de si éste genera un efecto o no en tal crecimiento.	• Volumen de la planta • Índice de esbeltez • Número de tallos por planta • Inicio de la floración de las plantas (presencia de botones florales) • Adultez de las flores (presencia de flores abiertas)	>0 cm. >0 1-4 >0 botones >=0 flores

Las variables teóricas antes planteadas se relacionarán con la variable independiente “tratamientos”, la cual hace relación a la aplicación de biochar en el suelo. Es de tener en cuenta que dicha aplicación se realiza a dos concentraciones (3.5 y 8 ton ha⁻¹).

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Establecer el efecto del biochar incorporado al suelo, en la etapa temprana de un cultivo de *Physalis peruviana* L. (uchuva).

4.2. Objetivos específicos

- a. Comparar características fisicoquímicas, microbiológicas y de crecimiento de las plantas que se presentan en el suelo con dos diferentes dosis de biochar y humus en un cultivo de la uchuva.
- b. Evaluar el crecimiento de las plantas de la uchuva comparando diferentes dosis de biochar aplicado en el suelo.
- c. Analizar la relación entre las características fisicoquímicas y microbiológicas del suelo con el crecimiento de las plantas de la uchuva con la aplicación de diferentes concentraciones de biochar.

5. METODOLOGÍA

5.1. Área de estudio

El trabajo de campo se llevó a cabo en la finca Ranchería, en la vereda Portachuelo, en el municipio de Santa Rosa de Viterbo, en Boyacá - Colombia (5° 55' 32.8" N, 72° 57' 51.7" O). El suelo en la finca es del orden inceptisol con epipedión úmbrico (IGAC, 2013) con textura arenosa - franco – arcilloso (ArFA) con un pH de 6.6. El cultivo de estudio se encuentra a una altitud aproximada de 2910 msnm. La temperatura promedio de la zona es de 13° C (Alcaldía de Santa Rosa de Viterbo, 2013) con una precipitación anual entre 1000 y 2000 mm (Corpoboyacá, 2013). El terreno de la finca se utilizó en los últimos 10 años para ganadería; éste tiene una inclinación de 16°.

5.2. *Diseño de estudio de campo*

El estudio realizado fue de tipo experimental. El área de cultivo de cada planta es de aproximadamente 0.79 m². Éstas tenían una separación entre planta y planta de aprox. 0.9 m y entre hileras de cultivo por aproximadamente 1.6 m. Se efectuaron cuatro tratamientos (variable independiente) así: 1) Biochar a una concentración de 3.5 ton ha⁻¹ ó 0.27 kg planta⁻¹: con biochar (tabla 1). 2) Biochar (concentración de 8 ton ha⁻¹ ó 0.63 kg planta⁻¹). 3) humus sólido y líquido. 4) Control: este hace referencia al cultivo sin la aplicación de fertilizantes, sólo se aplicaran productos para el control de plagas. A los tratamientos con biochar (1 y 2) se les adicionó humus (líquido y sólido) en igual cantidad que en el tratamiento 3. El ensayo se realizó con 135 plantas cultivadas asignadas por el propietario del cultivo de la uchuva; éstas se distribuyeron en números similares en los cuatro tratamientos planteados. En cada tratamiento se establecieron cuatro repeticiones organizadas al azar en parcelas. La unidad experimental fue cada parcela y cada planta fue la unidad de muestreo. Se midieron variables fisicoquímicas y microbiológicas del suelo y variables de crecimiento de la planta tal como se denota a continuación.

5.3. *Preparación del biochar*

La materia prima para la obtención del biochar fue madera de pino, madera de eucalipto y capacho y fruto de la uchuva (49.5%, 49.5% y 1% aproximadamente). Tanto la madera como la uchuva se dejaron secar al sol durante un día. Se realizó la carbonización en un pirolizador artesanal de dos piezas. Cada pirólisis realizada (15.5 Kg de materia prima aprox.) produjo un promedio de 4.5 Kg de biochar. El tiempo promedio de cada pirólisis fue de una hora a una temperatura media entre 750 y 800 °C. En total se produjeron 32 Kg de biochar, 31 Kg fueron utilizados para el ensayo de campo y el restante para analizar las propiedades fisicoquímicas. De cada pirólisis se separó aproximadamente 140 g hasta completar 1 Kg de muestra para el análisis fisicoquímico.

5.4. *Pruebas fisicoquímicas del suelo*

Se realizaron análisis fisicoquímicos del suelo en el Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) dos veces durante el tiempo de cultivo (antes de siembra y dos meses después de siembra). El primer muestreo se realizó 51 días antes de siembra, se tomaron dos muestras compuestas de todo el cultivo, cada muestra estaba formada de 10 submuestras obtenidas a una profundidad de 15 cm aproximadamente; en este muestreo aún no se había aplicado biochar en el suelo. El biochar se aplicó 37 días después del primer muestreo y 15 días después se realizó la siembra de plántulas. El segundo muestreo se realizó 56 días después de siembra y consistió en una muestra compuesta por cada repetición de cada tratamiento; la muestra

compuesta estaba formada por cuatro submuestras. Se determinó el pH (potenciométrico: suelo, agua 1:1), textura (método de Bouyoucos), materia orgánica (Walkley – Black), la capacidad de intercambio catiónico - CIC - (cmol(+)/Kg) Ca, Mg, K y Na (acetato de amonio 1 normal y neutro), P disponible (Brady II – mg/Kg), porcentaje de saturación de bases, elementos menores (mg/Kg) como Fe, Cu, Mn, Zn (extracción con DTPA), B disponible (agua caliente), y porcentaje de N total (Kjeldahl). En el laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales (LESYHT) de la Pontificia Universidad Javeriana (PUJ) se realizaron adicionalmente pruebas de humedad y densidad real, tal como se describe a continuación:

- **Humedad:** Se pesaron 10 g de suelo fresco para cada muestra, se depositaron en bolsas de papel debidamente marcadas y selladas, luego se colocaron las bolsas en el horno de secado a 105°C por 24 h. Pasado este tiempo se registró el peso del suelo seco ($\pm 0.001g$), y por último se realizó el cálculo de porcentaje de humedad (PH) con la ecuación (Andrades, 2012):

$$PH = 1 - \frac{P_s}{P_f} \times 100$$

donde, P_s = Peso seco de la muestra (g)

P_f = Peso fresco de la muestra (g)

- **Densidad real:** Se pesó el matraz aforado con su tapón. Luego se tamizaron 5 g de suelo y se agregaron al matraz aforado, se tapó y se pesó. Se adicionó agua hasta un poco más de la mitad del matraz y se colocó el matraz en un baño de maría hirviendo durante unos minutos y se agitó bien con el fin de expulsar el aire ocluido entre las partículas. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y se adicionó agua destilada fría hasta el enrase; en seguida se tapó bien el matraz y se pesó nuevamente. Se desocupó el matraz y se llenó con agua hasta el enrase y se pesó. La densidad real (D_r) se calculó con la ecuación (Soriano & Pons, 2001):

$$D_r = \frac{P_2 - P_1}{(P_2 - P_1) - (P_3 - P_4)} \times \rho_a$$

donde, ρ_a = densidad del agua (g/cm³)

P_1 = Peso del matraz con tapón (g)

P_2 = Peso del matraz con el suelo recién tamizado y con tapón (g)

P_3 = Peso del matraz enrazado con agua y con suelo luego de haber pasado por baño de María (g).

P_4 = Peso del matraz con sólo agua hasta el enrase (g).

5.5. *Pruebas microbiológicas*

51 días antes de siembra y a los 56 días después de siembra se realizaron análisis microbiológicos del suelo en el laboratorio del IGAC (Recuento en placa y número más probable – NMP). Las variables analizadas fueron:

abundancia de microorganismos fijadores de nitrógeno (RBA – incubado a 30° C por 3 días), abundancia de microorganismos solubilizadores de fosfato (SRS modificado – incubado a 30° C por 3 días), abundancia de bacterias heterótrofas (conteo en placa - incubado a 30°C por 2 días) y abundancia de bacterias tipo actinomicetos (almidón amoniacal - incubados a 35-40° C por 5-7 días), abundancia de hongos (agar Sabouraud - incubados a 30° C por 3-4 días) y abundancia de microorganismos celulolíticos aerobios (CMC - incubados a 30° C por 3-5 días), abundancia de coliformes totales (caldo brila - incubados a 35° C por 48 ± 2 horas) y fecales como enterobacterias y *Escherichia coli* (caldo EC-MUG - incubados a 44.5° C por 24 horas), *Salmonella* (agar SS – enriquecimiento por 48 horas y posterior incubación a 42° C por 24 horas) e identificación de hongos fitopatógenos (agar a base jugo V8 y extracto de malta).

5.6. *Evaluación de crecimiento en la planta de uchuva*

Se realizaron medidas de crecimiento directamente sobre las plantas cultivadas, al inicio de la siembra (2 días después de siembra) y luego a los 31 y a los 56 días después de siembra. Cada medición se realizó en el total de plantas de cada réplica. Se evaluaron las variables: volumen de la planta en cm³ (alto x ancho x largo de la planta), índice de esbeltez, el número de tallos y la floración por planta (estas dos últimas variables sólo se midieron en el tercer muestreo – floración incluye botones florares y flores abiertas). El índice de esbeltez se calculó teniendo en cuenta la siguiente información.

- **Índice de esbeltez (IE):** se midió la altura del tallo en cm con una regla y el diámetro del mismo en cm con una cinta diamétrica y se calculó el índice con la fórmula (Villar, 2003):

$$IE = \frac{a}{d} \quad \text{donde, } a = \text{altura planta (cm)} \text{ y } d = \text{diámetro del tallo (cm)}$$

5.7. *Análisis estadísticos*

Se utilizaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (determinación de distribución normal en la población) y pruebas de homogeneidad de varianzas de Levene. Para aquellas variables que presentaron normalidad y homogeneidad se usó ANOVA y si presentaron diferencias entre los grupos se les realizó una prueba HSD de Tukey. Para los datos de las variables que no cumplieron con homogeneidad de varianzas y normalidad se usó la una prueba de Kruskal-Wallis con el fin de evaluar si existían diferencias entre los tratamientos. Los análisis anteriores se realizaron el software SPSS v. 19. Al índice de esbeltez y volumen se les realizó la prueba de medidas repetidas λ de Wilks para determinar la interacción tiempo-tratamiento y el efecto del tiempo sobre los tratamientos; esta prueba se realizó con el software InfoStat v.2012. Adicionalmente se usó la prueba de correlación múltiple de Pearson para relacionar las variables fisicoquímicas y microbiológicas con las variables de crecimiento. El nivel de significancia en todas las pruebas estadísticas fue de 0.05.

6. RESULTADOS

6.1. Resultados fisicoquímicos del biochar

El biochar obtenido (tabla 4) fue de naturaleza alcalina (pH 9.6). Teniendo en cuenta que la pirolisis superó los 750 °C no se evidenció contenido de nitrógeno total ni carbono orgánico. Valores como el del Ca (17.6 cmol(+)/Kg) y el del B disponible (4.1 mg/Kg) son claves para tener en cuenta al momento de adicionar el biochar al suelo en el cultivo de la uchuva, ya que éstos se encuentran implicados en el buen desarrollo del fruto y su deficiencia ocasiona rajado del fruto (importancia económica del cultivo). En general el biochar presentó una cantidad significativamente importante de elementos.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de biochar derivado de madera (eucalipto y pino) y uchuva aplicado en un suelo (inceptisol) en Boyacá –Colombia en 2012.

		Biochar
pH	(H ₂ O)	9.6
C orgánico	(%)	0.0
N total	(%)	0.0
CIC	(cmol(+)/Kg)	18.6
Ca	(cmol(+)/Kg)	17.6
Mg	(cmol(+)/Kg)	3.1
K	(cmol(+)/Kg)	2.6
Na	(cmol(+)/Kg)	0.29
Mn	(mg/Kg)	112
Fe	(mg/Kg)	258
Zn	(mg/Kg)	9.3
Cu	(mg/Kg)	2.8
B	(mg/Kg)	4.1
P disponible	(mg/Kg)	715

6.2. Resultados fisicoquímicos del suelo

Las propiedades fisicoquímicas del suelo antes y después de siembra (antes y después de aplicar biochar respectivamente) analizadas en el IGAC están referidas en el anexo 1. Se encontró que la mayoría de las variables no hubo diferencias significativas ($P>0.05$) tanto antes de siembra como después de siembra; la única variable que presentó diferencia significativa ($P<0.05$) fue el pH (Figura 1) después de siembra.

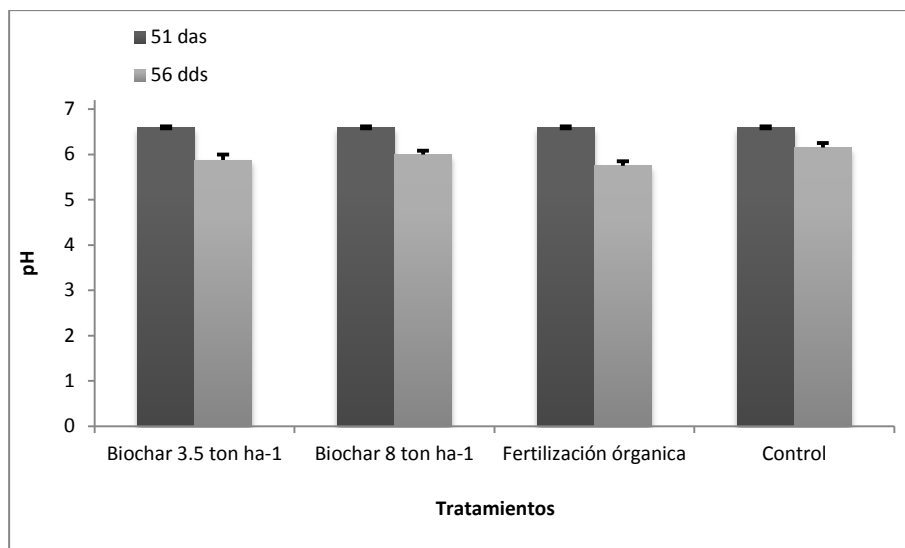


Figura 1. Promedio $\pm$ desviación estándar del pH del suelo en el sitio de estudio antes y después de siembra, teniendo en cuenta que la aplicación de biochar en el suelo se realizó 15 días antes de siembra. Método de determinación del pH (IGAC): potenciométrico: suelo, agua. **das**=días antes de siembra; **dds**=días después de siembra.

A través de la prueba de HSD de Tukey se identificaron las diferencias significativas ($P=0.001$) entre los tratamientos para la variable pH; se encontró que existen diferencias entre biochar 3,5 ton ha⁻¹ y el control, entre biochar 8 ton ha⁻¹ y fertilización orgánica y entre fertilización orgánica y el control siendo en todos los casos el control el que presentó el pH promedio más alto (6.2) seguido por biochar 8 ton ha⁻¹ (6.0). El promedio más bajo fue el del tratamiento de fertilización orgánica (5.8); sin embargo, es de anotar, que el pH promedio de los cuatro tratamientos está en el rango óptimo para el buen desarrollo del cultivo de la uchuva (5.5 y 7.0).

La mayoría de las variables fisicoquímicas (a excepción del pH) no presentaron diferencias significativas, por lo tanto se realizaron gráficos del comportamiento del promedio de la variable a través del tiempo del cultivo (tales gráficos sólo pretender ilustrar la tendencia de crecimiento o decrecimiento de la variable más no implica diferencias significativas entre los datos de los tratamientos). La densidad real del suelo (figura 2) presentó una disminución en todos los tratamientos siendo el control el tratamiento que mayor cambio tuvo (23.0% de disminución), mientras que el tratamiento de fertilización orgánica y biochar 3.5 ton ha⁻¹ fueron los que menor variación presentaron (17.2% de disminución).

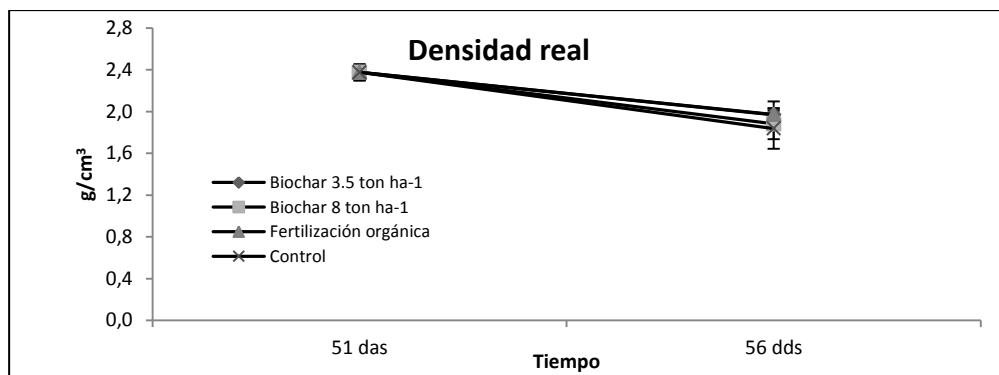


Figura 2. Variación del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la densidad real del suelo respecto al tiempo. **das**= días antes de siembra; **dds**= días después de siembra.

Las variables de humedad, carbono orgánico y saturación de bases (figura 3) presentaron un incremento a lo largo del tiempo del cultivo evaluado. En el caso de la humedad es el tratamiento de biochar 8 ton ha⁻¹ el que mayor incremento presentó (2.13%), mientras que en las otras dos variables fue el control el que mayor aumentó mostro (carbono orgánico: 0.7% y saturación de bases: 68.8%). En el nitrógeno total (figura 3) el control presentó un aumento de 0.02% y los demás tratamientos se mantuvieron estables. El IGAC tiene como consideraciones para el análisis de suelos tres valores: alto, medio y bajo (anexo 2); según esto, las variables de carbono orgánico y nitrógeno total presentaron valores medios a lo largo del estudio y la saturación de bases pasó de valores medios a altos.

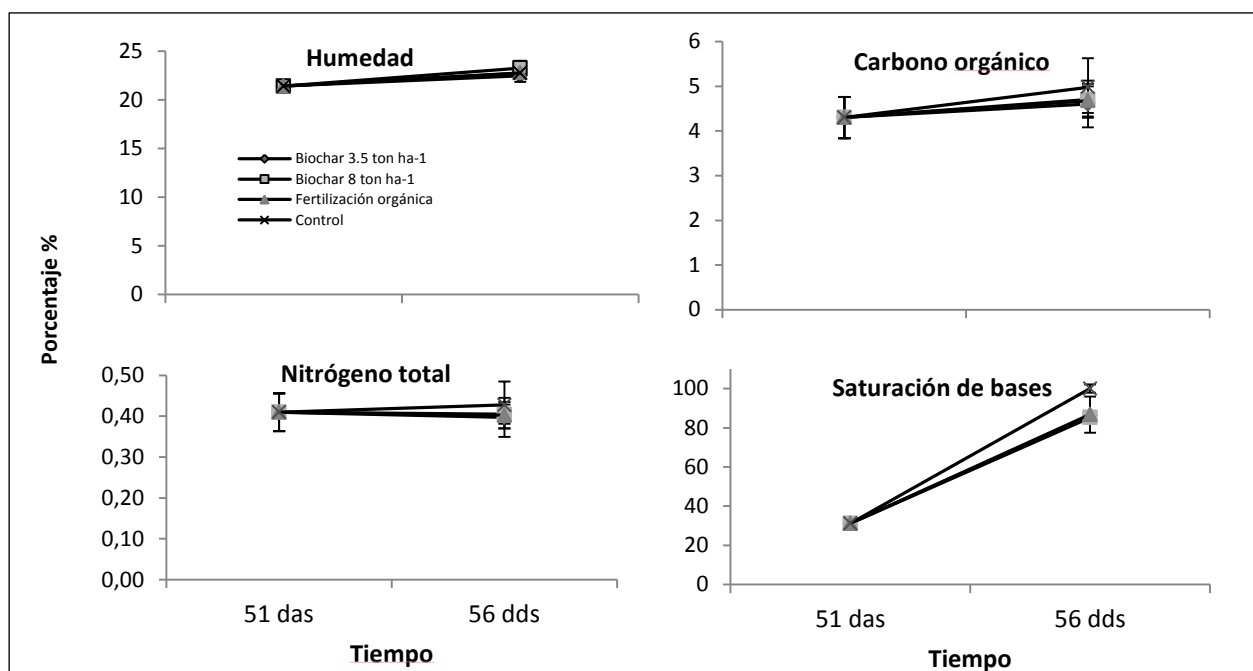


Figura 3. Variación del promedio ($\pm$ desviación estándar) del porcentaje de la humedad, carbono orgánico, nitrógeno total y saturación de bases del suelo respecto al tiempo. **das**= días antes de siembra; **dds**= días después de siembra.

Respecto al complejo de cambio (figura 4) se encontró que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuyó a los largo del tiempo del cultivo, siendo el tratamiento de fertilización orgánica el que menor variación presentó (2.2% de disminución)), mientras que el control fue el de mayor cambio (disminución de 14.1%). Todos los valores del CIC durante el tiempo del ensayo son valores altos según el IGAC. Los cationes intercambiables Ca, Mg, K y Na presentaron un aumento hasta el final de este estudio. El tratamiento control fue el de mayor aumento para el Ca (de 4.6 a 23.3 cmol(+)/Kg) y para el Na (de 0.02 a 0.3 cmol(+)/Kg). Para el Mg fue el tratamiento de biochar 8 ton ha⁻¹ el de mayor incremento (de 2.2 a 2.7 cmol(+)/Kg) y para el K fue el tratamiento de biochar 3.5 ton ha⁻¹ el de mayor cambio (de 1.6 a 2.5 cmol(+)/Kg).

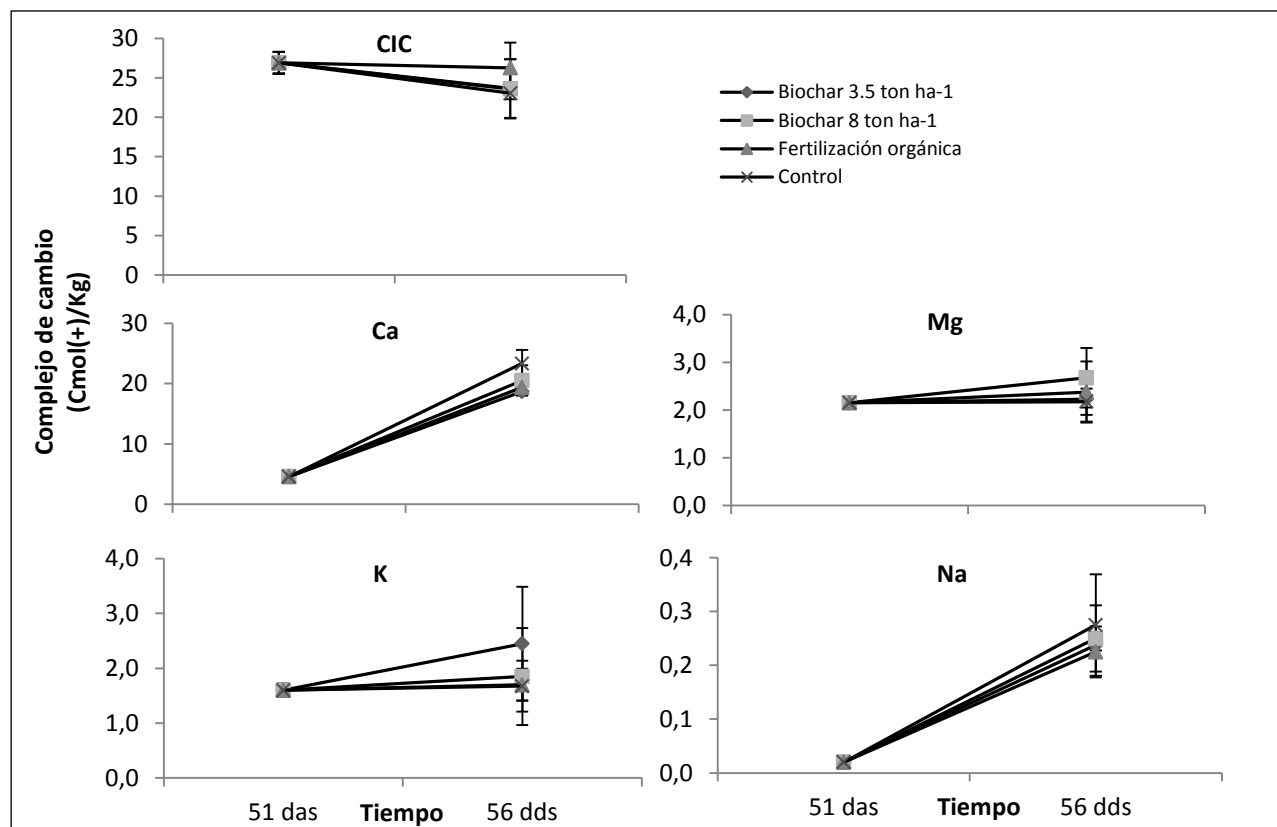


Figura 4. Variación en el tiempo del promedio ($\pm$ desviación estándar) del complejo de cambio del suelo, incluye la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y los cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na). **das**= días antes de siembra; **dds**= días después de siembra.

De los valores obtenidos para los cationes intercambiables (Ca, Mg y K) se realizaron las respectivas relaciones (tabla 5) que determinaron sus respectivas deficiencias. Se identificó deficiencias de Mg (según tabla IGAC) a los 56 después de siembra para los tratamientos de biochar 3.5 ton ha⁻¹ y para el control. Aunque los demás tratamientos después de siembra no presentan como tal deficiencias, sí presentan un incremento en la relación Ca/Mg lo que indica una cercanía general a la deficiencia en Mg.

Tabla 5. Relación entre cationes intercambiables con la respectiva identificación de deficiencias.

Tiempo	Tratamientos	Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	Resultado
51 das	Biochar 3.5 ton ha ⁻¹	2.1	1.3	2.9	4.2	No hay deficiencias
	Biochar 8 ton ha ⁻¹	2.1	1.3	2.9	4.2	No hay deficiencias
	Fertilización orgánica	2.1	1.3	2.9	4.2	No hay deficiencias
	Control	2.1	1.3	2.9	4.2	No hay deficiencias
56 dds	Biochar 3.5 ton ha ⁻¹	8.4	0.9 ^a	7.6	8.5	Deficiencia de Mg ^a
	Biochar 8 ton ha ⁻¹	7.7	1.4	11.1	12.5	No hay deficiencias
	Fertilización orgánica	8.2	1.4	11.4	12.8	No hay deficiencias
	Control	10.7 ^b	1.3	13.9	15.2	Deficiencia de Mg ^b

^a= la deficiencia de Mg en la relación Mg/K está dada debido a que el valor es <1.

^b= la deficiencia de Mg en la relación Ca/Mg está dada debido a que el valor es >10.

das= días antes de siembra; **dds**= días después de siembra.

Las últimas variables químicas evaluadas (figura 5) fueron el P disponible y los elementos menores (Mn, Fe, Zn, Cu y B). El P disponible presentó una disminución promedio importante del 70.7%. El tratamiento que mayor disminución tuvo fue el de fertilización orgánica (77.5%) y el que menor descenso presentó fue el control (62.2%). De los elementos menores, el Fe y el Cu presentaron disminución en sus valores en general. Para el Fe fue el tratamiento de fertilización orgánica el que presentó el mayor descenso (53.2%) mientras que en el tratamiento de biochar 3.5 ton ha⁻¹ se presentó la menor disminución (28.6%). Para el caso del Cu tanto el tratamiento de fertilización orgánica como el de biochar 8 ton ha⁻¹ presentaron igual decrecimiento (22.2%); mientras que los tratamientos de control y de biochar 3.5 ton ha⁻¹ presentaron disminución de 0.3 mg/Kg.

Los elementos menores de Mn, Zn y B presentaron un crecimiento en la disponibilidad (figura 5). El tratamiento de mayor incremento en Mn fue el control (51.3%) seguido por el tratamiento de biochar 3.5 ton ha⁻¹. Para el caso del Zn fue el tratamiento de biochar 3.5 ton ha⁻¹ el de mayor crecimiento (38%) y en el B, fue el control el de mayor incremento (50% de aumento).

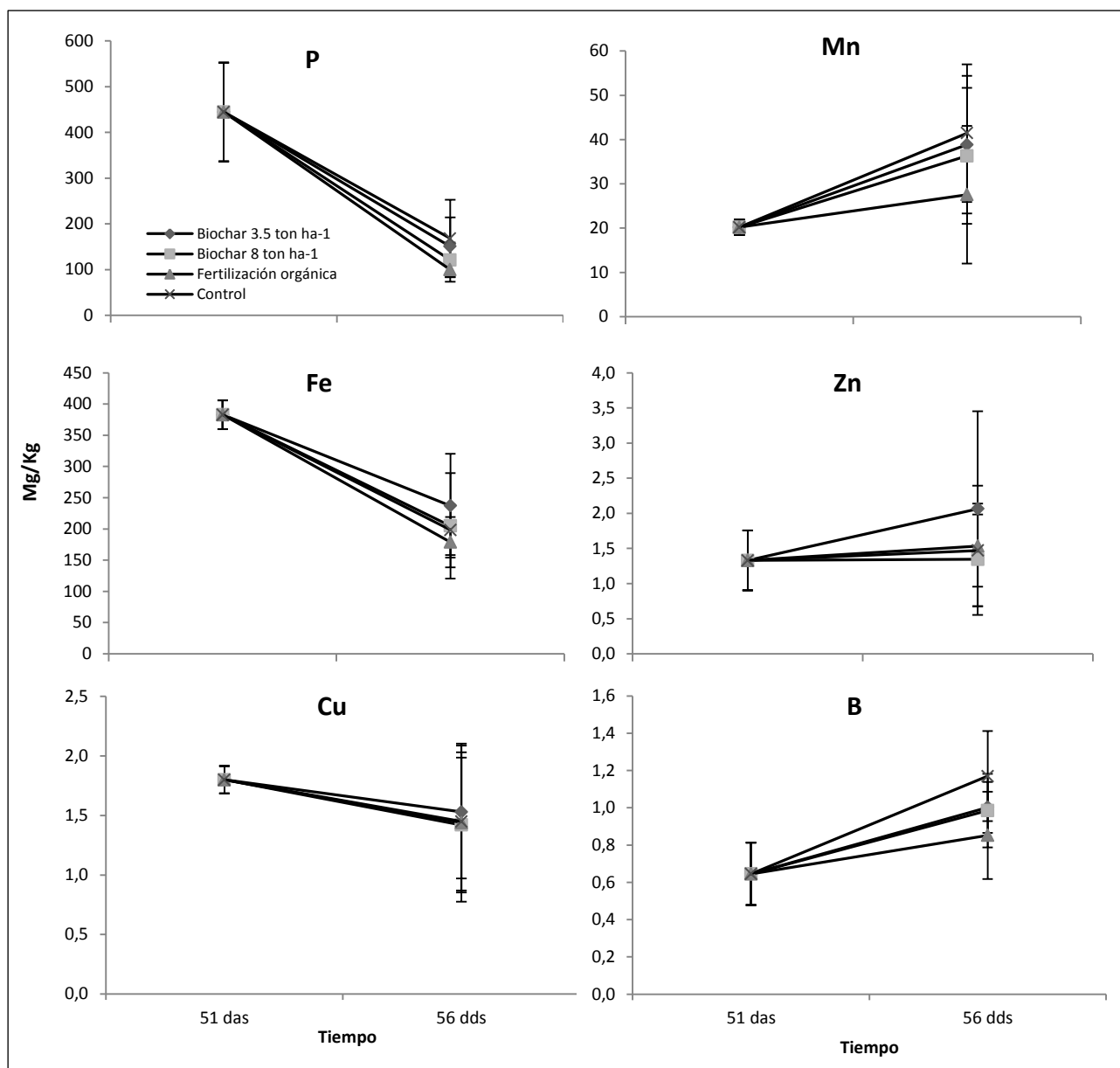


Figura 5. Variación en el tiempo del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la disponibilidad de P y de los elementos menores (Mn, Fe, Zn, Cu y B) en el suelo. **das**= días antes de siembra; **dds**= días después de siembra.

6.3. Resultados microbiológicos del suelo

Los resultados globales del análisis microbiológico del suelo del sitio de estudio antes y después de siembra (antes y después de aplicar biochar respectivamente) analizadas en el IGAC están referidas en el anexo 3. Sólo se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en la variable de abundancia de microorganismos celulolíticos aerobios (figura 6 y 7) en el muestreo de 56 días después de siembra ($P=0.029$). Dichas diferencias se identificaron entre el tratamiento de biochar 8 ton ha⁻¹ y los tratamientos de fertilización

orgánica y control. Biochar 3.5 ton ha⁻¹ presentó menor abundancia (5.3 UFC/g) en comparación con los tratamientos fertilización orgánica y control (5.6 UFC/g).

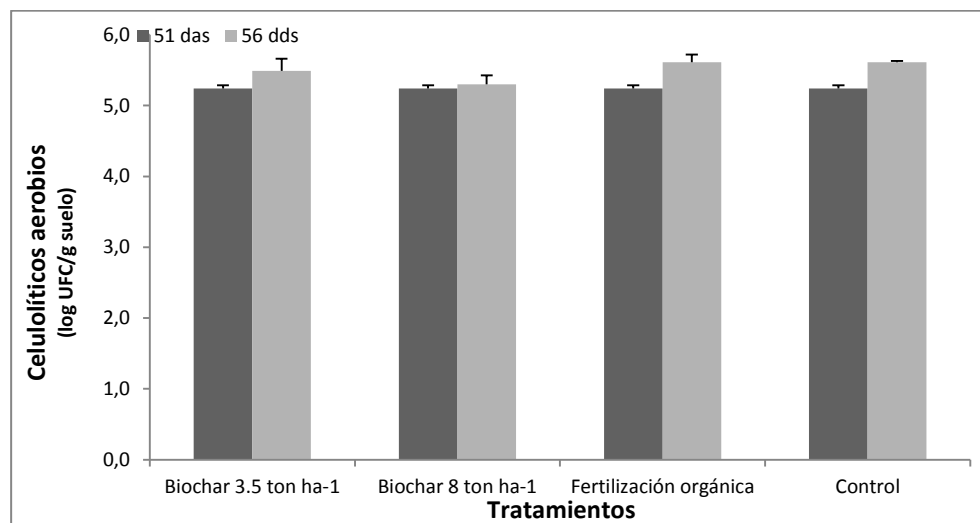


Figura 6. Promedio $\pm$ desviación estándar de la abundancia de microorganismos celulolíticos aerobios en el suelo de estudio antes y después de siembra, teniendo en cuenta que la aplicación de biochar en el suelo se realizó 15 días antes de siembra. Método de determinación por agar CMC (IGAC): **das**=días antes de siembra; **dds**=días después de siembra.

Aunque la mayoría de variables microbiológicas analizadas no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, se realizaron gráficos del logaritmo en base 10 del promedio de todas las variables con el fin de exponer la tendencia de incremento o disminución en la abundancia de los microorganismos evaluados (figuras 7 y 8) a través del tiempo. En la abundancia de hongos se identificó una tendencia de aumento siendo el tratamiento con mayor incremento el biochar 3.5 ton ha⁻¹ (1.1×10^5 UFC/g) seguido por el tratamiento de fertilización orgánica, luego el control y de último el de biochar 8 ton ha⁻¹ (7.6×10^4 , 6.8×10^4 y 5.0×10^4 UFC/g respectivamente). La abundancia de bacterias tipo actinomiceto fue el de control el de mayor incremento (54.6%). En las bacterias heterótrofos el cambio fue predominante por el tratamiento de biochar 3.5 ton ha⁻¹ (94.3%). El cambio en la abundancia de microorganismos fijadores de nitrógeno fue mayor en el control (97.6%). En los microorganismos solubilizadores de fosfato no se presentó ningún incremento, al contrario en todos los tratamientos hubo disminución en la abundancia; el que presentó menor descenso fue el tratamiento de biochar 3.5 ton ha⁻¹ (36.3%) y el que mayor variación tuvo fue el tratamiento de biochar 8 ton ha⁻¹ con una disminución del 88.8%

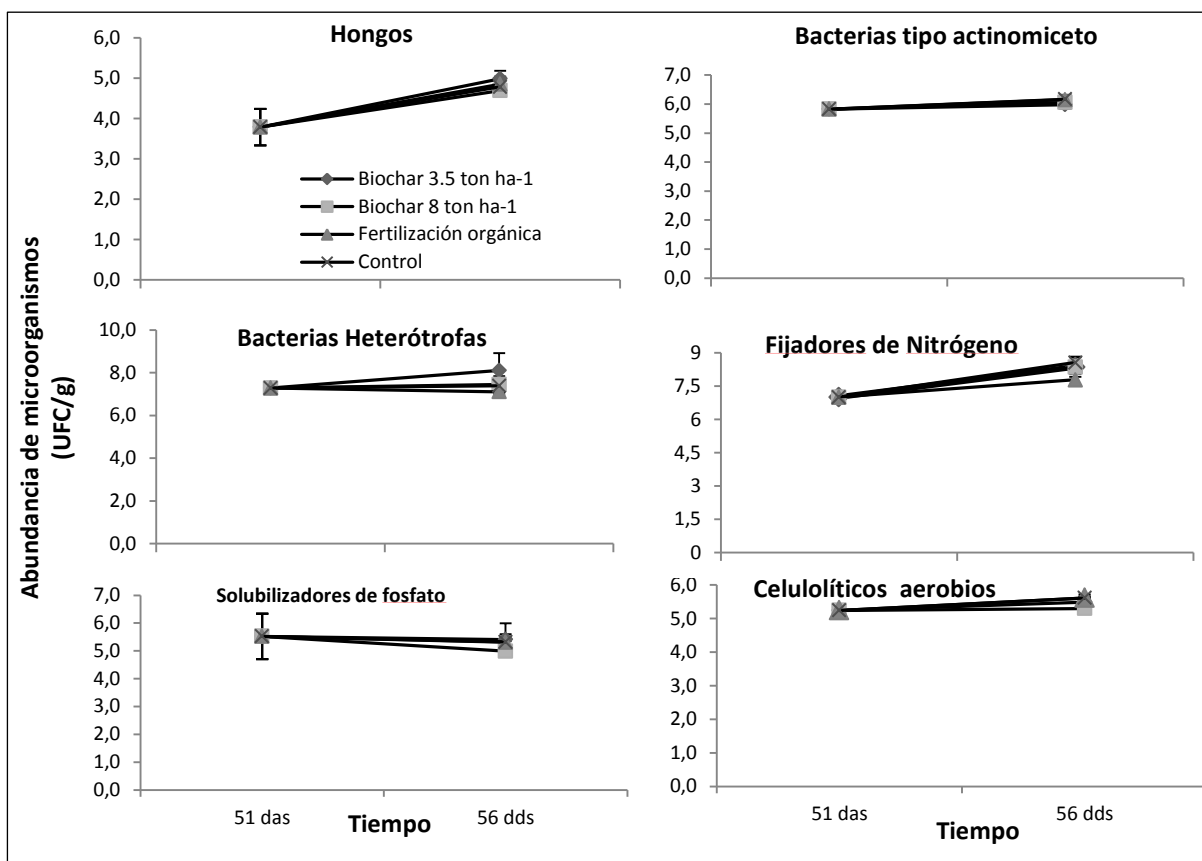


Figura 7. Variación en el tiempo del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la abundancia de microorganismos (log UFC/g) en el suelo de estudio. **das**= días antes de siembra; **dds**= días después de siembra.

Por otro lado se graficó el promedio ($\pm$ desviación estándar) de las abundancias de *E. coli* y coliformes totales y fecales (NMP/mL ó g) teniendo en cuenta que para coliformes se transformó la variable con $\log_{10}$ (figura 8). *E. coli* presentó un aumento en todos los tratamientos pasando de 0.2 a 1.9 NMP/mL ó g en el tratamiento de biochar 3.5 ton ha⁻¹ y de 0.2 a 1.8 NMP/mL ó g en los demás tratamientos. La abundancia en coliformes totales presentó un leve aumento para los tratamientos de biochar 8 ton ha⁻¹ y para el de fertilización orgánica (30% y 27.2% respectivamente).

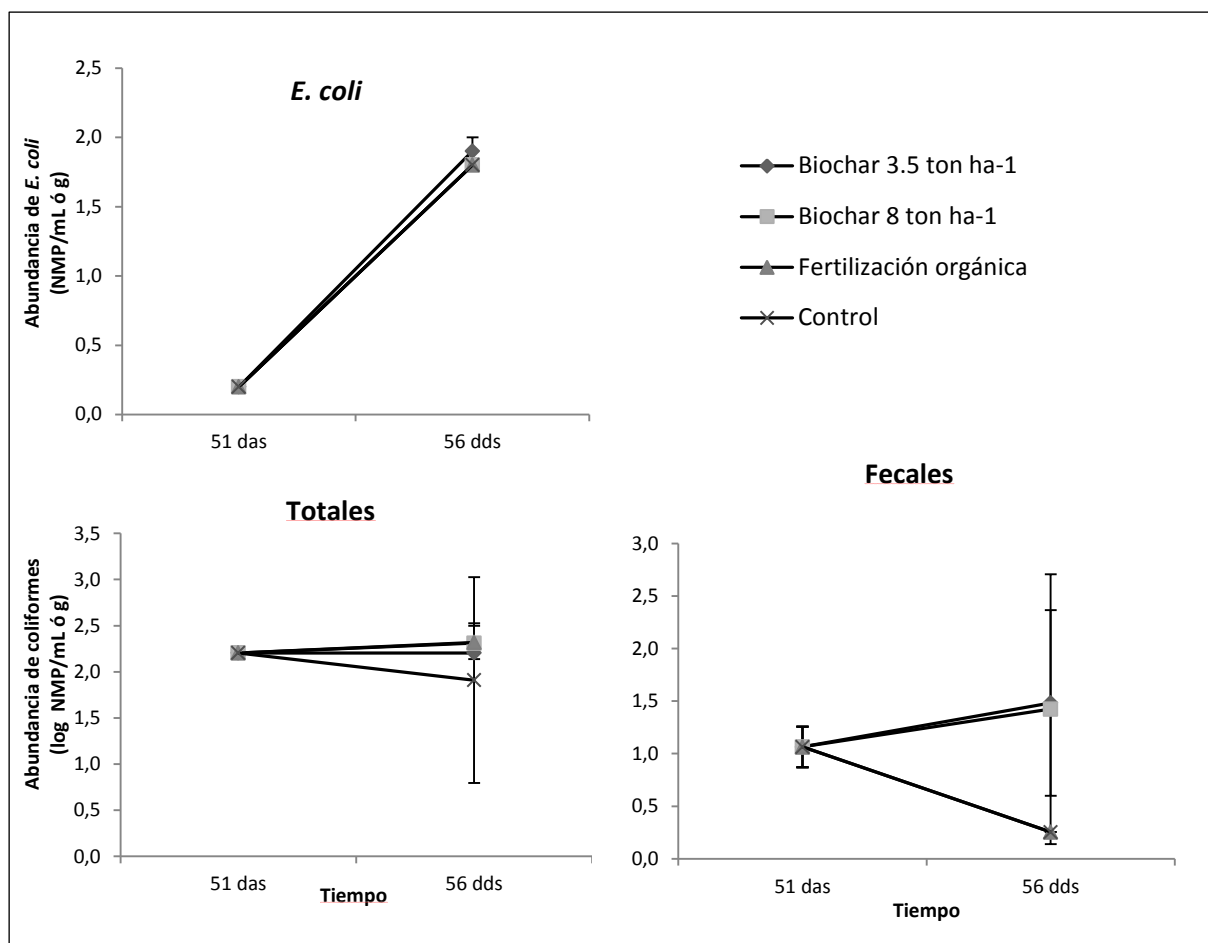


Figura 8. Variación en el tiempo del promedio ($\pm$ desviación estándar) de la abundancia de *E. coli* (NMP/mL ó g) y coliformes fecales y totales (log NMP/mL ó g) en el suelo de estudio. **das**= días antes de siembra; **dds**= días después de siembra.

En el muestreo 51 días antes de siembra se detectó *Salmonella* en las muestras evaluadas. A los 56 días después de siembra se detectó la presencia de la bacteria en una parcela de cada tratamiento con biochar, y en dos parcelas de los tratamientos de fertilización orgánica y control. Cuatro de las parcelas detectadas son continuas (una de cada tratamiento), las otras dos detecciones fueron aisladas.

No se encontraron hongos fitopatógenos en el primer muestreo, sin embargo sí se identificaron otros hongos como: *Mucor* sp., (Zygomycota), *Penicillium* sp. (Ascomycota) y *Gongronella* sp. (Zygomycota). En el segundo muestreo se identificaron varios hongos fitopatógenos (tabla 3). Los hongos del género *Fusarium* sp. se encontraron en la mayoría de las parcelas del estudio. En algunas parcelas se detectó no sólo el hongo fitopatógeno sino su posible controlador; tanto para *Verticillium albo-atrum* como para *Fusarium oxysporum* se identificó como posible controlador a *Trichoderma viridae*.

Tabla 3. Hongos fitopatógenos asociados al suelo de estudio correspondientes al segundo muestreo en campo (56 días después de siembra).

Tratamiento	Repetición /parcela	Hongos fitopatógenos
Biochar 3.5 ton ha ⁻¹	1	<i>Fusarium moniliforme</i>
	2	<i>Fusarium oxysporum</i>
	3	<i>Fusarium oxysporum</i> / <i>Fusarium moniliforme</i>
	4	<i>Fusarium oxysporum</i>
Biochar 8 ton ha ⁻¹	1	<i>Fusarium oxysporum</i>
	2	<i>Rhizoctonia solani</i> y <i>Fusarium tricinctum</i>
	3	<i>Verticillium albo-atrum</i> y el posible controlador <i>Trichoderma viridae</i>
	4	<i>Fusarium oxysporum</i>
Fertilización orgánica	1	<i>Fusarium semitectum</i> / <i>Fusarium oxysporum</i>
	2	<i>Fusarium oxysporum</i>
	3	<i>Fusarium oxysporum</i> y el posible controlador <i>Trichoderma viridae</i>
	4	<i>Fusarium oxysporum</i> var. <i>redolens</i>
Control	1	<i>Fusarium oxysporum</i> y el posible controlador <i>Trichoderma viridae</i>
	2	<i>Fusarium oxysporum</i>
	3	<i>Fusarium solani</i>
	4	<i>Fusarium solani</i>

6.4. Resultados del crecimiento de la planta de *Physalis peruviana* L. (uchuva)

De las variables analizadas relacionadas con el crecimiento de la planta de uchuva, tan sólo el número de tallos ($P=0.005$) y la floración ($P=0.032$) presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Respecto al número de tallos (figura 9) fue el tratamiento de biochar 3.5 ton ha⁻¹ quien presentó el promedio más alto ($2.9 \approx 3$ tallos/planta) seguido del tratamiento de fertilización orgánica, biochar 8 ton ha⁻¹ y por último el control ($2.8 \approx 3$, $2.7 \approx 3$ y $2.3 \approx 2$ tallos/planta respectivamente). La prueba HSD de Tukey para comparaciones múltiples entre grupos permitió definir que las diferencias significativas se dieron entre los tratamientos biochar 3.5 ton ha⁻¹ y control ($P=0.004$) y entre fertilización orgánica y el control ($P=0.036$).

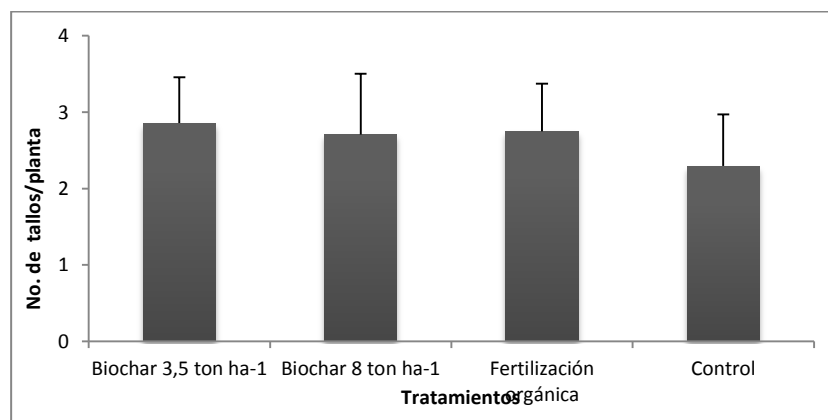


Figura 9. Número de tallos promedio ($\pm$ desviación estándar) por planta de estudio por tipo de tratamiento.

Los promedios más altos de floración por planta (figura 10) a los 56 días después de siembra los presentaron los tratamientos de biochar 3.5 ton ha⁻¹ (15 flores/planta) y fertilización orgánica (14.6 ≈ 15 flores/planta) seguido por biochar 8 ton ha⁻¹ (14.3 ≈ 14 flores/planta) y el control (11.6 ≈ 12 flores/planta). Al realizar el test de HSD de Tukey se encontró que sólo existen diferencias significativas ($P=0.036$) entre los tratamientos de biochar 3.5 ton ha⁻¹ y el control.

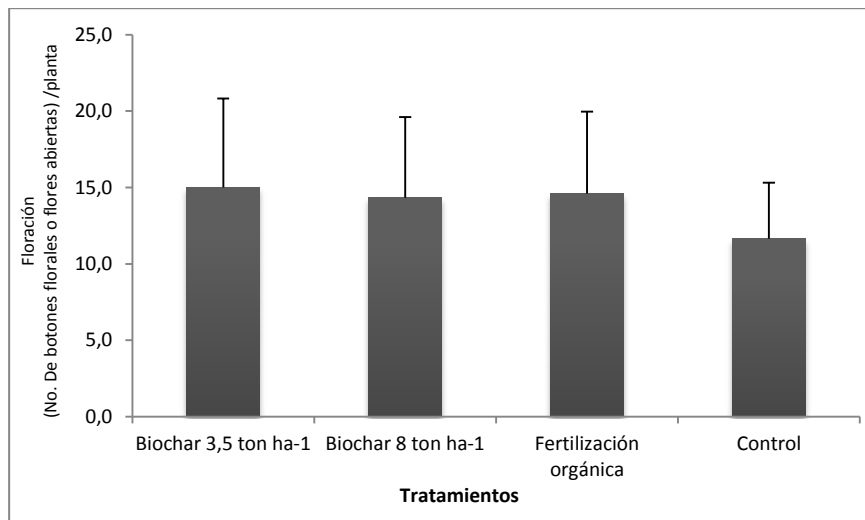


Figura 10. Número de flores promedio ($\pm$ desviación estándar) por planta de estudio por tipo de tratamiento. Se tuvo en cuenta tanto los botones florales como flores abiertas.

Para el volumen y la floración se realizó la prueba estadística λ de Wilks de medidas repetidas en el tiempo. Con respecto al volumen se probó primero la hipótesis de “interacción tiempo-tratamiento”, en la cual se encontró que las diferencias de volumen de las plantas entre los tratamientos no cambian con el tiempo ($P=0.1734$); posteriormente se analizó el efecto del tiempo sobre los tratamientos, encontrándose que el volumen de las plantas si cambia con el tiempo para cada tratamiento en particular ($P=0.0001$). El volumen promedio de las plantas de uchuva para los cuatro tratamientos (figura 11) mostró un cambio de tipo exponencial en sus primeras etapas de desarrollo. Aunque no se hayan presentados diferencias entre los tratamientos, el gráfico de los volúmenes de las plantas a través del tiempo mostró un mayor volumen promedio fueron en las plantas de los tratamientos con aplicación de biochar seguidas por el tratamiento de fertilización orgánica y finalizando con el control.

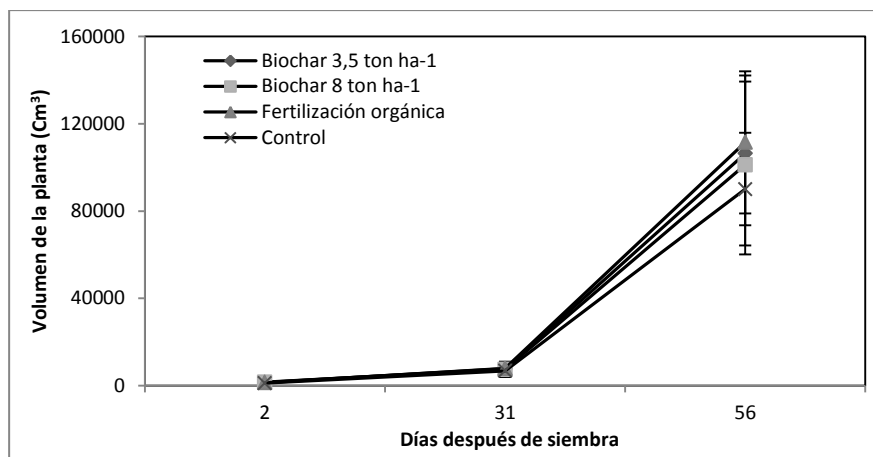


Figura 11. Promedio ($\pm$ desviación estándar) del volumen/planta por tipo de tratamiento a lo largo del tiempo de estudio.

El resultado de la interacción tiempo-tratamiento para el índice de esbeltez fue similar al del volumen, puesto que las diferencias del índice de esbeltez de las plantas entre los tratamientos a lo largo del tiempo no presentan diferencias significativas ($P=0.063$); mientras que el tiempo sí genera un efecto en la variable ya que el índice de esbeltez de las plantas cambia a medida que pasa el tiempo de cultivo ($P=0.0001$). El promedio del índice de esbeltez para todos los tratamientos refleja una tendencia similar a lo largo del tiempo (figura 12). Después de la siembra, la planta tiende a engrosar el diámetro del tallo y no crecer tanto en altura, por lo tanto el índice de esbeltez decrece; luego la planta crece verticalmente más rápido en comparación al engrosamiento del tallo.

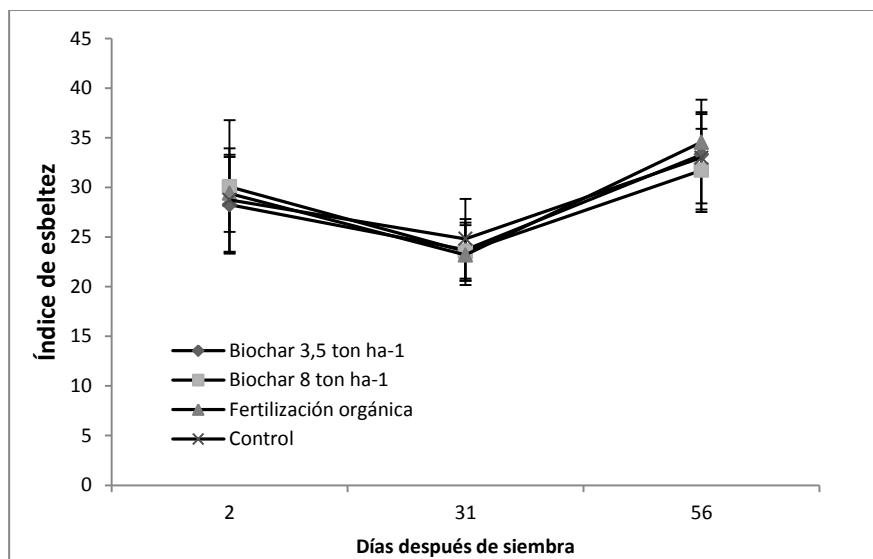


Figura 12. Promedio ($\pm$ desviación estándar) del índice de esbeltez/planta por tipo de tratamiento a lo largo del tiempo de estudio.

6.5. Resultados de relación entre variables

Al relacionar las variables fisicoquímicas y microbiológicas con el crecimiento de la planta de la uchuva sólo se encontró una correlación entre la capacidad de intercambio catiónico y la floración ($P=0.037$ - $R^2= 0.525$). Adicionalmente se encontró correlación entre las variables de crecimiento: Volumen - índice de esbeltez ($P=0.038$ - $R^2= 0.521$) y Volumen – floración ($P=0.007$ - $R^2= 0.647$). Todos los valores anteriores indican que mientras el valor de una variable aumenta, así mismo aumenta la otra variable. Por otro lado, no son correlaciones muy fuertes, no todos los eventos internos de una variable se correlacionan con la otra variable.

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

De las propiedades fisicoquímicas analizadas en el suelo, sólo el pH presentó diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo la variación en los datos no representa grandes cambios que puedan afectar el cultivo de la uchuva, puesto que el promedio del pH más bajo estuvo en 5.8 y el más alto en 6.2 (pH óptimo para el cultivo de uchuva debe estar entre 5.5. y 7.0). Respecto a los tratamientos donde se adicionó biochar, aunque el pH del biochar producido fue de 9.6, puede que éste no tenga un gran impacto en el pH del suelo, debido a la capacidad de neutralización de ácidos del biochar (Sparkes & Stoutjesdijk, 2011). Las demás propiedades fisicoquímicas del suelo no presentaron diferencias entre los tratamientos, no obstante, se analizó (de forma ilustrativa) la tendencia en el comportamiento de cada variable durante el tiempo de estudio.

La densidad real (DR) al inicio del estudio fue de 2.4 g/cm^3 y al final estuvo en promedio entre 1.8 y 2.0 g/cm^3 para todos los tratamientos, mostrando un claro descenso en general. Los suelos se catalogan como minerales con una DR promedio de 2.65 g/cm^3 ; cuando los valores de DR están por debajo del promedio, el suelo se clasifican como suelos orgánicos (Jaramillo, 2002; Llorca, 2006). Según lo anterior, antes de realizar la siembra de la uchuva el suelo se acercaba más a un tipo de suelo mineral y a medida que avanzó el tiempo y se realizaron labores de fertilización con humus el suelo se fue conformando como un suelo orgánico. Es necesario tener en cuenta que a lo largo del estudio se realizaron tres fertilizaciones de humus sólido y líquido en el cultivo, a excepción del tratamiento control donde se realizó una adición de humus dos meses antes de siembra. Tal adición del fertilizante orgánico está implicada en la consecuente variación mineral y orgánica en el suelo. Es así, que la tendencia del carbono orgánico fue al ascenso, pasando de un promedio general de 4.3% a valores entre 4.6% y 5.0%.

La adición de materia orgánica al suelo interviene en el ciclo biogeoquímico de nutrientes, evita pérdida de éstos por lavados, libera nutrientes al mineralizarse, interviene en el balance hídrico del suelo, favorece la penetración de las raíces, estabilizada los agregados y poros estructurales del suelo y evita procesos de erosión,

entre otros beneficios (Porta *et al.*, 1999; R. D. Zapata & Osorio, 2010). Para el caso específico de la uchuva, altas concentraciones de N en el suelo y un incremento en el contenido de materia orgánica (superior al 20%) pueden desencadenar efectos negativos como el rajado del fruto (Fischer, 2005).

La textura del suelo de estudio es franco–arcilloso–arenoso (24.9%, 24.6% y 50.5% respectivamente); el hecho de ser principalmente arenoso implica que es un suelo suelto y por lo tanto presenta un mayor flujo de agua hacia los horizontes inferiores ocasionando a su vez un lavado de nutrientes; por consiguiente, el cultivo requiere de mayor cantidad de riego y de fertilizantes para mantener la suficiente cantidad de nutrientes disponibles para la planta (Porta *et al.*, 1999; Llorca, 2006). Entre los meses de noviembre de 2012 y finales de febrero de 2013 la zona de estudio presentó una ausencia extrema de lluvias con incrementos en la temperatura (hasta 39° C al medio día), por lo tanto la humedad del suelo empezó a decaer, esto sumado a la ausencia de agua en la finca ya que no pasan ríos o quebradas cerca. Lo anterior conllevó a buscar alternativas de consecución de agua (creación de un reservorio) y poder hacer el riego en el cultivo cada ocho días, lo que repercutió en un ligero aumento en el promedio final del porcentaje de humedad en el suelo y cambios en la densidad real del suelo asociados también a pequeños incrementos en la materia orgánica del suelo tal como lo muestran los resultados.

Algunas de las propiedades químicas del suelo presentaron tendencia al descenso, como por ejemplo la CIC, la disponibilidad de P, Fe y Cu. La disminución en la CIC es consecuente con el aumento en el porcentaje de saturación de bases, puesto que a medida que uno de los dos aumenta el otro disminuye (Thompson & Troeh, 1988). Lo anterior está relacionado con la fertilidad del suelo y con la materia orgánica, ya que entre más alto sea el valor del CIC mayor será la fertilidad. Por otro lado, la materia orgánica tiene carga negativa lo que ocasiona que los cationes con carga positiva (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) sean atrapados favoreciendo así la disponibilidad de éstos para la planta (Lora, 2010). Se ha establecido que para horizontes Ap como el de la finca de estudio (horizontes minerales oscurecidos con materia orgánica o afectados por laboreo o pastoreo) el valor mínimo aceptable del CIC es de 8-10 $\text{cmol}(+) \text{ Kg}^{-1}$ (Porta *et al.*, 1999). La CIC en el área de estudio en los dos muestreos realizados estuvo por encima del valor mínimo (entre 23 y 30 $\text{cmol}(+) \text{ Kg}^{-1}$, lo que indica que el suelo es apto para el cultivo. La disminución a lo largo del tiempo de estudio puede estar dada por la necesidad de la planta de los nutrientes durante el crecimiento y desarrollo normal. En el caso de que el CIC siga en descenso, esto representaría una señal de alarma de la necesidad de fertilización adicional al suelo. Granatstein en el 2009 encontró que la CIC del suelo no cambió con la aplicación del biochar, aunque si se presentó una tendencia al incremento (Sparkes & Stoutjesdijk, 2011).

El fósforo es un elemento esencial en el metabolismo de la planta y tiene un papel fundamental en la síntesis de proteínas. La deficiencia de este elemento en la planta ocasiona un desarrollo débil tanto a nivel radicular

como en la parte aérea de la planta. Debido a la gran movilidad del fósforo en la planta son las hojas más viejas las que presentan los primeros síntomas de deficiencia (hojas delgadas y más pequeñas) y por ende se genera un retraso en la madurez del fruto (Navarro, 2000). Suelos con pH entre 6.5 y 7.5 presentan buena disponibilidad de fósforo, a medida que disminuye el pH, disminuye el fósforo (Wild, 1992) lo cual guarda concordancia con los resultados. El IGAC (ver anexo 2) manifiesta que valores mayores a 40 mg/Kg son altos en el cultivo. Sin embargo, altas dosis de fertilizantes en el suelo no aseguran una alta utilización del fósforo por parte de la planta, además el fósforo tiene como ventaja que se pierde en pequeñas cantidades en la lixiviación, lo que favorece su permanencia en el suelo (Navarro, 2000).

Una de las posibles causas que ha incurrido en la tendencia al aumento o a la disminución de los elementos químicos del suelo (tanto mayores como menores) ha sido la fertilización orgánica aplicada. Ésta fue realizada con humus de dos casas comerciales diferentes (una de Pereira y otra de Bogotá), por lo tanto existe una variación en nutrientes los incorporados al suelo partiendo de las posibles diferencias en cada humus aplicado. Por otro lado, la tendencia evaluada sólo está enmarcada en dos muestreos, lo cual no significa que los datos obtenidos sean una predicción exacta del comportamiento de las propiedades fisicoquímicas del suelo; sin embargo, la utilización de los datos de las variables analizadas sí permiten tener una idea de qué componentes se pueden incorporar adicionalmente en la fertilización orgánica o al contrario cuáles deben reducir su proporción de aplicación. Por ejemplo, al analizar las relaciones Ca/Mg y Mg/K se encontró que para el segundo muestreo (es decir 56 días de siembra) había deficiencia de Mg para las parcelas del tratamiento control y para el biochar 3.5 ton ha⁻¹ respectivamente. La deficiencia de Mg afecta el proceso fotosintético de la planta y por ende su desarrollo y crecimiento, puesto que éste elemento es componente estructural clave de la clorofila. Como tratamiento correctivo en suelos poco ácidos se utiliza acetato magnésico (Navarro, 2000).

Algunos autores han planteado el uso del biochar como enmienda y como un agente controlador de la transformación de nutrientes en el suelo, por lo tanto, éstos plantean que el biochar no es una fuente principal de nutrientes (Deluca, MacKenzie, & Gundale, 2009). Lo anterior puede explicar el por qué no se ven diferencias en la disponibilidad de nutrientes en general entre los tratamientos con biochar y sin biochar con los dos meses de evaluación de este trabajo. Sin embargo, a largo plazo el biochar puede favorecer tales procesos de transformación de tal forma que incremente la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Las propiedades físicas y químicas del suelo establecen las condiciones del medio ambiente en el cual se encuentran los microorganismos; dichas propiedades afectan directamente la composición cualitativa y cuantitativa de la comunidad microbiana (Alexander, 1981). Por otra parte, las poblaciones de microorganismos realiza gran número de funciones que generan cambios en las condiciones del suelo (Varela & Rueda, 2010). Dichas funciones están relacionadas con los servicios ecosistémicos que prestan tales como:

descomposición de materia orgánica, ciclaje de nutrientes, bioturbación y control de enfermedades y plagas principalmente (Swift, Bignell, Moreira, & Jeroen, 2008).

Existen varios mecanismos por los cuales los microorganismos favorecen la nutrición en las plantas como por ejemplo: **a)** solubilización de elementos en forma inorgánica como en el caso de los microorganismos solubilizadores de fosfatos (p.e. *Bacillus megatherium*). **b)** fijación biológica de nutrientes como en el caso de microorganismos fijadores de nitrógeno (p.e. bacterias del género *Azotobacter*), los cuales toman la forma atmosférica (N_2) y lo dejan en una forma combinada (NH_3) utilizable por la planta. **c)** incremento en la capacidad radicular de la planta mejorando la absorción de nutrientes por la planta, como en el caso de las micorrizas. **d)** Transformación de compuestos orgánicos a formas inorgánicas accesibles para la planta, entre otros (Munévar, 2010).

Al evaluar las abundancias de microorganismos presentes en las muestras de suelo, tan sólo los celulolíticos aerobios (microorganismos que degradan la celulosa y la lignina) presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento de biochar 8 ton ha⁻¹ fue el de menor abundancia (5.3 UFC/g) respecto a la fertilización orgánica y el control (5.6 UFC/g para ambos casos). Al comparar las tendencias en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, fue el tratamiento control el que presentó las tendencias más altas, por lo que puede estar asociado con el mayor crecimiento de los microorganismos celulolíticos. El resto de microorganismos evaluados presentaron en general una tendencia al incremento, a excepción de solubilizadores de fosfato y coliformes. El contenido de humedad del suelo presentó también un leve aumento a lo largo del tiempo de estudio y además se mantuvo el pH ideal para el cultivo de uchuva (entre 5.5 y 7.0), lo que está muy relacionado con la tendencia generalizada al incremento en las poblaciones de microorganismos (hongos, actinomicetes, bacterias heterótrofas, fijadores de nitrógeno y celulolíticos aerobios). Al aumentar el porcentaje de humedad en el suelo y mantener un pH entre 5 y 6.6, los microorganismos responden favorablemente de tal forma que facilita su establecimiento y permanencia en el suelo (Alexander, 1981; Varela & Rueda, 2010). Por otro lado, la temperatura y la aireación son condiciones ambientales que están implicadas en el crecimiento y el metabolismo microbiano (Alexander, 1981). Las temperaturas promedio de la zona han estado entre los 10° C hasta los 39° C, lo que a su vez pudo incrementar la temperatura del suelo, favoreciendo así el desarrollo y crecimiento de microorganismos mesófilos.

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de biochar en el suelo estimula la actividad de gran variedad de microorganismos agrícolamente importantes modificando así las condiciones microbiológicas del suelo. El tamaño y la distribución de los poros del biochar proveen un espacio adecuado para el desarrollo de los microorganismos; éste varía con la temperatura de la pirolisis. Dependiendo del tamaño del poro, diferentes microorganismos tendrán o no acceso al espacio interior del biochar (Thies & Rillig, 2009).

Además, dependiendo de la materia prima de la cual se obtenga el biochar y las condiciones de producción, éste puede contener bio-aceites o compuestos orgánicos que podrían favorecer el crecimiento de ciertos grupos microbianos sobre otros (Sparkes & Stoutjesdijk, 2011). Lo anterior puede estar relacionado con el incremento o con la disminución en las abundancias de los microorganismos presentadas en este trabajo.

La distribución y la densidad de los organismos además de los factores ambientales antes mencionados, también está relacionada con la materia orgánica que se le adiciona al suelo (Varela & Rueda, 2010). Dicha materia puede ser proveniente de vegetación o fertilizantes orgánicos como el humus de lombriz (caso puntual de este estudio). La distribución de dicho humus no siempre es homogénea en el cultivo o no es de óptima calidad, lo que puede generar cambios en la densidad microbiana tan sólo entre parcelas de la misma zona de estudio ya que varía la disponibilidad de nutrientes. Lo anterior puede explicar las diferentes variaciones en los valores de las abundancias en las poblaciones de microorganismos encontradas entre los tratamientos.

E. coli es una enterobacteria que se encuentra generalmente en sistema digestivo tanto de animales como de humanos. Ésta se transmite principalmente por vía fecal o por contaminación cruzada o por contacto humano durante la preparación de alimentos (Pascual & Calderón, 2000). A lo largo del estudio se encontró un incremento la densidad de *E. coli* pasando de un promedio general de 0.2 NMP/mL ó g a 1.8 NMP/mL ó g. Teniendo en cuenta que antes del cultivo de uchuva, la finca de estudio estaba destinada a ganadería, se puede pensar que el ganado ya contenía *E. coli* y que a través del estiércol se contaminó el suelo. Ya establecido el cultivo de uchuva se han realizado fertilizaciones orgánicas con dos diferentes tipos de humus de lombriz, el cual pudo estar contaminado con *E. coli* desde su producción inicial aumentando así la densidad poblacional de esta bacteria. La evaluación de coliformes totales y fecales presenta incremento en algunos tratamientos y disminución en otros. Esto puede estar ligado a una distribución inequitativa del humus orgánico que se ha incorporado al cultivo y que posiblemente llegó con contaminantes desde su lugar de origen. La Norma Técnica Colombiana (NTC) – 5167 establece que: *“los fertilizantes y acondicionadores orgánicos de origen no pedogenético, deberán demostrar que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos patógenos: Enterobacterias totales: menos de 1000 UFC/g de producto final”* (Icontec, 2004). Teniendo en cuenta lo anterior, los niveles encontrados de *E. coli* en la zona de estudio no representan ningún riesgo y cumple con la norma técnica.

En el primer muestreo realizado del suelo se detectó *Salmonella* para todas las muestras, y para el segundo muestreo sólo se evidenció en algunas parcelas. El primer muestreo no abarca muestras de suelo por cada parcela del experimento, sino que fueron solamente dos muestras compuestas de todo el cultivo (cada muestra con 10 submuestras). Por lo tanto se asumió para el primer muestreo que lo detectado allí era similar para toda la zona de estudio. Por lo anterior, es muy posible que en el primer muestreo realmente no todas las parcelas hayan presentado *Salmonella* y por lo tanto sólo había presencia de ésta en las parcelas que se registran en el

segundo muestreo. Es muy posible que la contaminación en el cultivo de *Salmonella* haya sido por los abonos orgánicos aplicados al cultivo dos meses antes de la siembra. Al igual que para *E. coli*, la NTC – 5167 establece que el nivel máximo de *Salmonella* debe ser ausente en 25 g de producto final (Icontec, 2004). Sin embargo, también es posible que la contaminación provenga desde que la finca se utilizaba para ganadería, puesto el ganado en uno de los hábitats principales de *Salmonella*. Tanto para *Salmonella* como para coliformes fecales se ha encontrado que luego de que estas bacterias estén en suelo, el tiempo de vida allí es corto, pueden ser algunas semanas, lo que podría reducir en algún momento el riesgo para la salud. Además con el paso del tiempo, éstas bacterias pueden llegar a ser destruidas por poblaciones de microorganismos nativos (Alexander, 1981).

Antes de siembra se identificaron tres géneros de hongos heterótrofos: *Penicillium* sp., *Mucor* sp. y *Gongronella* sp. Estos hongos tienen una alta tasa de esporulación y por lo tanto son aislados con mucha frecuencia (Alexander, 1981). Generalmente las condiciones utilizadas en laboratorio (temperatura y humedad) para el crecimiento de hongos, favorece el crecimiento de un máximo del 10% de la población real de microorganismo del suelo, debido a la alta tasa de crecimiento de los mismo; pero por otro lado, reduce la posibilidad de identificar otros microorganismos de crecimiento más lento o bajo otras condiciones (Varela & Rueda, 2010). La aplicación de sustratos orgánicos altera la composición de microorganismos del suelo y por lo tanto puede afectar la dominancia de los hongos anteriormente mencionados (Alexander, 1981).

Después de siembra sólo se identificaron hongos fitopatógenos de los géneros (ver anexo 3): *Fusarium* spp., *Verticillium* sp., *Rhizoctonia* sp. y *Trichoderma* sp. En más del 90% de las parcelas de estudio se detectó *Fusarium* spp. Éste hongo en conjunto a *Rhizoctonia* sp. son causantes del mal del semillero o “damping off” (Zapata *et al.*, 2002); esta enfermedad genera pudrición de las raíces y/o de los tallos, aparecen manchas amarillas en las plántulas y posterior necrosis. Adicionalmente se identificó el hongo *Fusarium oxysporum* var. *redolens* en una parcela del tratamiento de fertilización orgánica, el cual ha sido aislado de leguminosas (Buxton, 1955). El hongo *Verticillium albo-atrum* ocasiona una enfermedad llamada verticilosis en plantas como el tomate en donde ocurre una marchitez de la planta (The American Phytopathological Society, 1999); aunque no hay registro de verticilosis en uchuva en Colombia, es posible que este hongo no sólo afecte solanáceas como el tomate sino que pueda estar afectando otras plantas de la misma familia.

Por otro lado, se ha detectado que hongos del género *Trichoderma* spp. son controladores naturales de hongos fitopatógenos, como por ejemplo del género *Fusarium* spp, *Rhizoctonia solani* y *Phytophthora* spp, entre otros. Es posible que estos hongos estén presentes en el cultivo por contaminación cruzada, puesto que en otras fincas del mismo agricultor ya hay reportes de *Fusarium* spp. y *Rhizoctonia solani*. Algunos estudios han manifestado que *Trichoderma* spp. utiliza mecanismos de acción antagonista tales como: microparasitismo, competencia por el

sustrato, antibiosis, resistencia inducida, entre otros (Infante, Martínez, González, & Reyes, 2009; Izzeddin & Medina, 2011).

En lo referente al crecimiento de la planta de uchuva, no se presentaron diferencias entre los tratamientos respecto a la variación en el volumen de la planta a lo largo de los dos meses de estudio ni tampoco en el índice de esbeltez; se espera que se pueda continuar el seguimiento al cultivo puesto que los estudios realizados anteriormente han detectado diferencias entre 1 y 4 años después de haber aplicado el biochar al suelo. Sin embargo, se evidenció el efecto que tiene el tiempo sobre las variables. Durante el primer mes después del trasplante, la planta tiene un crecimiento lento y luego para el segundo mes la planta crece rápidamente en volumen de forma casi exponencial. Ya al final del segundo mes empieza a verse el desarrollo de la floración. Al evaluar el crecimiento de la planta con el índice de esbeltez (IE) se encontró una relación basada en el tipo de crecimiento arbustivo de la uchuva. Para el primer mes después de siembra el IE disminuye, indicando que la planta está engrosando su tallo más no está creciendo mucho en volumen ni en altura, preparándose para luego soportar el crecimiento acelerado del segundo mes. En el segundo mes, la planta se elonga más rápido y crece en volumen, por lo tanto aumenta el IE, aparecen tallos anexos y se evidencia el crecimiento arbustivo de la planta. Se espera que en sus etapas fenológicas siguientes empiece a disminuir el crecimiento acelerado hasta el punto donde se presente una tendencia a la estabilización.

En el número de tallos y la floración de las plantas por tratamiento (correspondiente al último muestreo) sí se presentaron diferencias significativas. En las dos variables fue el tratamiento donde se aplicó biochar a razón de 3.5 ton ha⁻¹ el que presentó datos más elevados, es decir mayor número de tallos por planta (3 en promedio) y 15 flores por planta. Los tratamientos de fertilización orgánica y biochar 8 ton ha⁻¹ tuvieron promedios similares entre sí y el control fue el que presentó menor número de tallos en promedio (2 tallos/planta) y 12 flores por planta. Es muy apresurado asegurar que el efecto del biochar ha logrado un mayor desarrollo en la planta, más aún cuando no se han presentado diferencias importantes en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo. El menor crecimiento de las plantas del control puede estar dado por el hecho de que a este tratamiento no se le aplicó la fertilización orgánica (humus de lombriz sólido y líquido) a lo largo del tiempo de estudio, tal como se realizó en los demás tratamientos. Sin embargo la continuidad de la evaluación de todo el desarrollo de la planta podrá brindar más información.

Son diversos los estudios que han registrado cambios significativos en las propiedades del suelo luego de la aplicación de biochar, como por ejemplo cambios en el pH, mayor capacidad de intercambio catiónico e incremento en la reserva de minerales (Hammes & Schmidt, 2009; Major *et al.*, 2010); además, se aumenta la disponibilidad de potasio, fósforo, zinc y en menor proporción calcio y cobre, favorece el crecimiento y reproducción de importantes microorganismos como bacterias, actinomicetes y hongos micorrízicos

arbusculares, entre otros (Lehmann & Rondon, 2006). Los resultados en general de este estudio aún no muestran variaciones significativas entre los tratamientos, y muchos menos entre las diferentes concentraciones de biochar aplicado al suelo. Muchas de las investigaciones realizadas con biochar han demostrado su acción en el suelo y en el rendimiento del cultivo aproximadamente un año después de la aplicación de biochar (depende también del tipo de cultivo y de suelo), como por ejemplo en los estudios de Major *et al.*, 2010 y Hossain, Strezov, Chan, & Nelson, 2010.

Al realizar el análisis estadístico entre las variables fisicoquímicas y microbiológicas con respecto a las variables de crecimiento, sólo se encontró correlación positiva entre la capacidad de intercambio catiónico del suelo y la floración de la planta de la uchuva. Sin embargo, el coeficiente encontrado corresponde a un valor medio (0.52), lo que implica que no todos los datos de una variable varían de acuerdo a la otra variable. Por lo tanto no se puede asegurar completamente que la planta sembrada en un suelo con un CIC más alto en comparación a otras plantas, va a desarrollar flores más rápidamente o va a tener más flores que otras. Adicionalmente se encontró correlación entre el volumen de la planta y las variables de índice de esbeltez y floración. El mayor volumen es un indicativo del crecimiento arbustivo de la planta de la uchuva y por ende está muy ligado al índice de esbeltez. En tan solo dos meses no fue posible evidenciar cambios o relaciones significativas entre las variables, es necesario continuar con el proyecto por lo menos uno o dos años más.

8. CONCLUSIONES

La evaluación del efecto del biochar en los dos primeros meses del cultivo de la uchuva fue muy corta para encontrar diferencias entre las variables fisicoquímicas, de crecimiento vegetal e inclusive en variables que cambian muy rápidamente como las microbiológicas. Los estudios con biochar realizados con anterioridad han planteado cambios significativos en el suelo y en el crecimiento de las plantas a largo plazo (más de un año). Sin embargo, para el corto tiempo evaluado se alcanzó a observar que el tratamiento de biochar de 3.5 ton ha⁻¹ presentó una mayor floración y un mayor número de tallos respecto a lo demás tratamientos. De lo anterior avala la necesidad de darle continuidad a este trabajo por lo menos dos años más y así analizar el efecto a largo plazo de la aplicación de biochar en el cultivo de la uchuva.

En la actualidad no se conoce información relacionada del uso del biochar en un cultivo de uchuva y menos en la región andina colombiana, por lo tanto, los datos aquí obtenidos son el primer soporte del comportamiento de las variables analizadas con el uso del biochar como enmienda del suelo. Las variables fisicoquímicas y microbiológicas en gran parte presentaron una tendencia al incremento en sus valores, lo que pudo estar relacionado con el hecho de que el biochar está implicado en las transformaciones de los nutrientes

y en brindar un hábitat adecuado para microorganismos que favorezcan el desarrollo de dichas transformaciones y por ende incidan positivamente en el desarrollo de las planta de uchuva.

9. RECOMENDACIONES

Como primera medida es necesario que este trabajo se pueda prolongar por lo menos uno o dos años más con el fin de analizar el efecto del biochar hasta las últimas etapas fenológicas de la uchuva, así complementar la información ya obtenida. Adicionalmente se sugiere realizar por lo menos una o dos réplicas de todo el ensayo de campo, de este modo se puede llegar a resultados más robustos. También es necesario realizar otras estadísticas multivariadas que permitan un análisis más exhaustivo de las relaciones entre las variables.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Santa Rosa de Viterbo. (2013). Santa Rosa de Viterbo. Información General. Recuperada en enero 24, 2013, de <http://www.santarosadeviterbo-boyaca.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=mIxx-1-&m=f>
- Alexander, M. (1981). *Introducción a la Microbiología del Suelo* (p. 491). México, D.F., México: Libros y editoriales, S.A.
- Andrades, M. (2012). *Prácticas de Edafología y Climatología* (p. 69). Logroño, España: Universidad de la Rioja, Servicio de Publicaciones.
- Angulo, R. (2005). *Uchuva. El cultivo* (p. 78). Bogotá, Colombia: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Araya, E., & Ossa, C. (1976). *La mecanización en la agricultura colombiana* (p. 110). Bogotá, Colombia: Adimagro.
- Buxton, E. W. (1955). Fusarium diseases of peas. *Transactions of the British Mycological Society*, 38(4), 309–316. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(55\)80035-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(55)80035-6)
- Corpoboyacá. (2013). Suelos y uso de la tierra. Recuperado Enero 24, 2013, de <http://www.corpoboyaca.gov.co/>
- Corporación Colombiana Internacional. (2006). Uchuva. Recuperado Febrero 1, 2013, de http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2006327162612_uchuva_CCI_actualización.pdf
- DANE. (2009). Encuesta Experimental Nacional De Desempeño Agropecuario -Enda-. Informe de Resultados. Recuperado Setiembre 9, 2012, de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/informe_resultados_enda_2008.pdf
- DANE. (2011). Encuesta Nacional Agropecuaria. Recuperado Setiembre 9, 2012, de http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/ena/cp_ena_2011.pdf

- Deluca, T., MacKenzie, D., & Gundale, M. (2009). Biochar effects on soil nutrient transformations. In J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar For Environmental Management* (pp. 251–270). London, UK: Earthscan.
- Evenson, R., & Gollin, D. (2003). Assessing the Impact of the Green Revolution , 1960 to 2000. *Science*, 300(5620), 758–762.
- Fairtrade International. (2011). El Sello Fairtrade. Recuperado Febrero 4, 2013, de http://www.fairtrade.net/the_fairtrade_mark.html?&L=1
- FAO. (2001). Los Mercados Mundiales de Frutas y Verduras Orgánicas. Recuperado Enero 21, 2013, de <http://www.fao.org/docrep/004/y1669s/y1669s04.htm#TopOfPage>
- FAO. (2002). *Los fertilizantes y su uso* (4ta ed., p. 77). Roma, Italia: Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura.
- FAO. (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura* (p. 47). Roma, Italia: Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura.
- Fischer, G. (2000). Crecimiento y desarrollo. In V. Flórez, G. Fischer, & Á. Sora (Eds.), *Producción, Poscosecha y Exportación de la uchuva (Physalis peruviana L.)* (pp. 9–26). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Fischer, G. (2005). El problema del rajado del fruto de la uchuva y su posible control. In G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahíta, & J. Romero (Eds.), *avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia* (p. 221). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Giraldo, R. (2010). HUELLAS DESTRUCTIVAS DE LA AGRICULTURA COMERCIAL EN EL PAISAJE DEL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA, 1950-1975. *Entramado*, 6(1), 140 – 156.
- Gore, A. (2010). *Nuestra Elección. Un plan para resolver la crisis climática* (p. 414). Barcelona, España: Editorial Gedisa S.A.
- Hammes, K., & Schmidt, M. W. I. (2009). Changes of Biochar in Soil. In J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar For Environmental Management* (pp. 169–182). London, UK: Earthscan.
- Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., & Nelson, P. F. (2010). Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*, 78(9), 1167–71. doi:10.1016/j.chemosphere.2010.01.009
- Huggins, D. R., & Reganold, J. P. (2008). No-Till: the Quiet Revolution. *Scientific American*, 299(1), 70–77.
- Icontec. (2004). *Norma Técnica Colombiana 5167. Productos Para La Industria Agrícola Productos Orgánicos Usados Como Abonos O Fertilizantes Y Enmiendas De Suelo* (p. 32). Bogotá, Colombia.
- IGAC. (2013). Instituto Geográfico Agustín Codazzi . Mapas de Colombia. Recuperado Mayo 2, 2013, de http://geoportal.igac.gov.co:8888/signa_sig/Agrologia.seam
- Infante, D., Martínez, B., González, N., & Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de Trichoderma frente a hongos fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*, 24(1), 14–21.

- Izzeddin, N., & Medina, L. (2011). Efecto del control biológico por antagonistas sobre fitopatógenos en vegetales de consumo humano. *Salus. Revista de la facultad de Ciencias de la Salud*, 15(3), 8–12.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo* (p. 613). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Jeffery, S., Verheijen, F. G. a., Van der Velde, M., & Bastos, a. C. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 175–187. doi:10.1016/j.agee.2011.08.015
- Kalmanovitz, S. (1978). *Desarrollo de la agricultura en Colombia* (p. 360). Medellín, Colombia: Editorial La Carreta.
- Lal, R., & Shukla, M. (2004). *Principles of Soil Physics* (p. 682). New York, USA: Taylor & Francis e-Library.
- Legiscomex. (2008). Frutas exóticas en Colombia / Inteligencia de mercados. Recuperado Enero 12, 2013, de http://www.legiscomex.com/BancoMedios/Documentos PDF/est_col_frutas_exot_6.pdf
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar For Environmental Management: An introduction. In J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar For Environmental Management* (pp. 1–12). London, UK: Earthscan.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. a., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812–1836. doi:10.1016/j.soilbio.2011.04.022
- Lehmann, J., & Rondon, M. (2006). Bio-Char Soil Management on Highly Weathered Soils in the Humid Tropics. In N. Uphoff, A. Ball, E. Fernandes, H. Herren, O. Huson, M. Laing, C. Palm, *et al.* (Eds.), *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems* (pp. 517–530). Boca Ratón: CRC Press.
- Leon, T., & Rodríguez, L. (2002). *Ciencia, Tecnología y ambiente en la agricultura Colombiana. Cuadernos Tierra y Justicia*. (p. 44). Bogotá, Colombia.
- Levidow, L., & Keynes, M. (2012). The Bio-Economy Concept and Knowledge Base in a Public Goods and Farmer Perspective. *Bio-based and Applied Economics*, 1(1), 47–63.
- Ligarreto, G., Lobo, M., & Correa, A. (2005). Recursos genéticos del género *Physalis* en Colombia. In G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahíta, & J. Romero (Eds.), *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia* (pp. 9–28). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Llorca, R. (2006). *Prácticas de atmósfera, suelo y agua* (p. 110). Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Lora, R. (2010). Propiedades químicas del suelo. In H. Burbano & F. Silva (Eds.), *Ciencia del suelo. Principios básicos* (pp. 72–137). Valencia, España: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333(1-2), 117–128. doi:10.1007/s11104-010-0327-0
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. (2011). Nutrient leaching in a Colombian savanna Oxisol amended with biochar. *Journal of environmental quality*, 41(4), 1076–86. doi:10.2134/jeq2011.0128

- Mejía, A. G. (2005). Exportación de la uchuva a la Unión Europea y a otros países. In G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahíta, & J. Romero (Eds.), *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia* (pp. 213–221). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2007). Agricultura orgánica o ecológica. Recuperado Marzo 20, 2013, de http://www.minagricultura.gov.co/archivos/guia_de_agricultura_ecologica.pdf
- Miranda, D. (2005). Criterios para el establecimiento, los sistemas de cultivo, el tutorado y la poda de la uchuva. In G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahíta, & J. Romero (Eds.), *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia* (pp. 29–54). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Munévar, F. (2010). Organismos del suelo. In Hernán Burbano & Francisco Silva (Eds.), *Ciencia del suelo. Principios básicos* (pp. 439–484). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Navarro, G. (2000). *Química agrícola* (p. 488). Barcelona, España: Mundi-Prensa.
- OECD. (2009). *The Bioeconomy to 2030, Designing a Policy Agenda* (p. 322). Organization For Economic Cooperation And Development. París, Francia: OECD Publishing.
- Pascual, M. del R., & Calderón, V. (2000). *Microbiología alimentaria: Metodología analítica para alimentos y bebidas* (2da edició., p. 464). Madrid, España.: Díaz de Santos, S.A.
- Pinzón, A. (2010). *Edafología* (p. 299). Colombia: Cargraphics S.A.
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (1999). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (2da. ed., p. 849). Madrid, España.: Ediciones Mundi-Prensa.
- Powlson, D. S., Gregory, P. J., Whalley, W. R., Quinton, J. N., Hopkins, D. W., Whitmore, A. P., Hirsch, P. R., *et al.* (2011). Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*, 36, 72–87. doi:10.1016/j.foodpol.2010.11.025
- Proexport. (2011). Uchuva colombiana tiene el sello fairtrade. Recuperado Enero 12, 2013, de <http://www.proexport.com.co/noticias/uchuva-colombiana-tiene-el-sello-fairtrade>
- Sanabria, S. (2005). Situación actual de la uchuva en colombia. In G. Fischer, D. Miranda, W. Piedrahíta, & J. Romero (Eds.), *Avances en cultivo, poscosecha y exportación de la uchuva Physalis peruviana L. en Colombia* (pp. 1–8). Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Saouma, E. (1993). Campesinos del Norte y del Sur. Recuperado Enero 12, 2013, de <http://www.fao.org/docrep/v2865s/v2865s06.htm>
- Soriano, M., & Pons, V. (2001). *Prácticas de Edafología y Climatología* (p. 147). Valencia, España: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Sparkes, J., & Stoutjesdijk, P. (2011). *Biochar: implications for agricultural productivity* (p. 54). Australia.
- SSSA. (2013). Glossary of Soil Science Terms. Soil Science Society of America. Recuperado Enero 24, 2013, de <https://www.soils.org/publications/soils-glossary#>

- Swift, M., Bignell, D., Moreira, F., & Jeroen, E. (2008). The inventory of soil biological diversity: concepts and general guidelines. In F. Moreira, J. Huising, & D. Bignell (Eds.), *A Handbook of tropical soil biology* (pp. 1–16). London, UK: Earthscan.
- The American Phytopathological Society. (1999). *Plagas y enfermedades del tomate* (p. 75). Madrid, España.: Ediciones Mundi-Prensa.
- Thies, J., & Rillig, M. (2009). Characteristics of Biochar: Biological Properties. In J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar For Environmental Management* (pp. 85–106). London, UK: Earthscan.
- Thompson, L., & Troeh, F. (1988). *Lso suelos y su fertilidad* (p. 657). Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Tilman, D. (1998). The greening of the green revolution. *Nature*, 396, 211–212.
- Tilman, D. (1999). Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(11), 5995–6000.
- Universidad Nacional de Colombia. (2010). Agencia de Noticias UN. Mejores rendimientos para el biochar. Recuperado Febrero 1, 2013, de <http://www.agenciadenoticias.unal.edu.co/nc/detalle/article/mejores-rendimientos-para-el-biochar/>
- USDA. (2009). Soil Quality / Soil Health Assessment. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Recuperado Enero 24, 2013, de <http://soils.usda.gov/sqi/assessment/assessment.html>
- USDA. (2010). *Claves para la Taxonomía de Suelos* (11th ed., p. 365). Departamenrto de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales. Washington, D.C. USA.
- USDA. (2013). Taxonomía de Plantas en GRIN. *Physalis peruviana* L. United States Department of Agriculture. Recuperado Julio 3, 2013, de <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?102390>
- Varela, A., & Rueda, D. M. (2010). Organismos del suelo. In Hernán Burbano & F. Silva (Eds.), *Ciencia del suelo. Principios básicos* (pp. 392–438). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Villar, P. (2003). Importancia de la calidad de planta en los proyectos de revegetación. In J. M. Rey-Benayas, T. Espigares, & J. M. Nicolau (Eds.), *Restauración de Ecosistemas Mediterráneos* (pp. 65–86). Alcalá, España.: Universidad de Alcalá.
- Wild, A. (1992). Elementos nutritivos en el suelo: fósforo. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusell* (11a ed., pp. 733–782). Madrid, España.: Mundi-Prensa.
- Zapata, R. D., & Osorio, N. W. (2010). La materia orgánica del suelo. In Hernán Burbano & F. Silva (Eds.), *Ciencia del suelo. Principios básicos* (pp. 357–396). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Zapata, Saldarriaga, A., Londoño, M., & Díaz, C. (2002). *Manejo del cultivo de la uchuva en colombia* (p. 40). Rionegro, Colombia.

11. ANEXOS

Anexo 1. Propiedades fisicoquímicas del suelo 51 días antes de siembra y antes de aplicación de biochar y 56 días después de siembra y de aplicado el biochar. Los tratamientos biochar 3.5 ton h⁻¹ y biochar 8 ton ha⁻¹ (51 días antes de siembra) no indican que ya tengan biochar adicionado, sino que hacen referencia a las parcelas donde posteriormente se aplicó tal concentración de biochar con el fin de evaluar el antes y el después de la aplicación de biochar.

Tiempo	Tratamiento	Repetición	Humedad	Densidad Real	pH	Materia orgánica		Complejo de cambio						S.B. %	Fósforo disponible	Elementos menores				
						C	N total	CIC	Ca	Mg	K	Na	B.T.			Mn	Fe	Zn	Cu	B
						(C.O. %)	(%)	(cmol(+)/Kg)								(mg/Kg)	(mg/Kg)			
51 días antes de siembra (15-dic-2013)	Control	1	21.24	2.31	6.6	4.7	0.45	25.7	4.6	2.2	1.7	0.01	8.5	33.0	351	18.7	403	1.7	1.7	0.5
		2	21.24	2.31	6.6	4.7	0.45	25.7	4.6	2.2	1.7	0.01	8.5	33.0	351	18.7	403	1.7	1.7	0.5
		3	21.56	2.44	6.6	3.9	0.37	28.1	4.6	2.1	1.5	0.03	8.3	29.4	538	21.7	363	1.0	1.9	0.8
		4	21.56	2.44	6.6	3.9	0.37	28.1	4.6	2.1	1.5	0.03	8.3	29.4	538	21.7	363	1.0	1.9	0.8
	Fertilización orgánica	1	21.24	2.31	6.6	4.7	0.45	25.7	4.6	2.2	1.7	0.01	8.5	33.0	351	18.7	403	1.7	1.7	0.5
		2	21.24	2.31	6.6	4.7	0.45	25.7	4.6	2.2	1.7	0.01	8.5	33.0	351	18.7	403	1.7	1.7	0.5
		3	21.56	2.44	6.6	3.9	0.37	28.1	4.6	2.1	1.5	0.03	8.3	29.4	538	21.7	363	1.0	1.9	0.8
		4	21.56	2.44	6.6	3.9	0.37	28.1	4.6	2.1	1.5	0.03	8.3	29.4	538	21.7	363	1.0	1.9	0.8
	Biochar 3.5 ton ha ⁻¹	1	21.24	2.31	6.6	4.7	0.45	25.7	4.6	2.2	1.7	0.01	8.5	33.0	351	18.7	403	1.7	1.7	0.5
		2	21.24	2.31	6.6	4.7	0.45	25.7	4.6	2.2	1.7	0.01	8.5	33.0	351	18.7	403	1.7	1.7	0.5
		3	21.56	2.44	6.6	3.9	0.37	28.1	4.6	2.1	1.5	0.03	8.3	29.4	538	21.7	363	1.0	1.9	0.8
		4	21.56	2.44	6.6	3.9	0.37	28.1	4.6	2.1	1.5	0.03	8.3	29.4	538	21.7	363	1.0	1.9	0.8
	Biochar 8 ton ha ⁻¹	1	21.24	2.31	6.6	4.7	0.45	25.7	4.6	2.2	1.7	0.01	8.5	33.0	351	18.7	403	1.7	1.7	0.5
		2	21.24	2.31	6.6	4.7	0.45	25.7	4.6	2.2	1.7	0.01	8.5	33.0	351	18.7	403	1.7	1.7	0.5
		3	21.56	2.44	6.6	3.9	0.37	28.1	4.6	2.1	1.5	0.03	8.3	29.4	538	21.7	363	1.0	1.9	0.8
		4	21.56	2.44	6.6	3.9	0.37	28.1	4.6	2.1	1.5	0.03	8.3	29.4	538	21.7	363	1.0	1.9	0.8
56 días después de siembra (02-abr-2013)	Control	1	22.23	2.02	6.1	4.9	0.42	23.1	23.0	2.3	2.3	0.21	27.8	SAT	158	48.0	202	1.6	0.9	1
		2	23.23	1.57	6.1	4.1	0.35	23.3	20.6	1.9	1.5	0.41	24.4	SAT	104	22.6	164	0.9	1.1	1.0
		3	22.64	1.93	6.3	5.3	0.46	22.0	26.1	2.0	1.2	0.21	29.5	SAT	120	36.4	174	1.3	1.6	1.5
		4	22.85	1.83	6.1	5.6	0.48	23.8	23.6	2.5	1.7	0.27	28.1	SAT	290	58.8	254	2.1	2.2	1.2
	Fertilización orgánica	1	23.30	1.96	5.7	4.4	0.38	27.7	20.3	3.3	1.7	0.26	25.6	92.3	83	27.2	214	1.5	1.3	0.8
		2	22.92	2.15	5.9	4.3	0.37	23.3	20.0	1.9	2.1	0.16	24.2	SAT	80	11.8	124	0.6	0.6	0.8
		3	22.55	1.86	5.7	5.0	0.43	30.1	19.3	2.0	1.4	0.22	22.9	76.1	98	33.1	176	2.7	2.0	1.2
		4	22.3	1.92	5.7	5.0	0.43	24.0	17.9	2.3	1.6	0.26	22.1	91.9	138	38.2	202	1.3	1.9	0.7
	Biochar 3.5 ton ha ⁻¹	1	22.97	2.01	6.0	5.3	0.46	26.3	22.4	2.8	2.9	0.23	28.3	SAT	236	55.5	286	4.0	1.9	1.1
		2	21.66	1.99	5.7	4.7	0.41	23.1	16.7	1.9	1.7	0.23	20.5	88.9	100	18.9	168	0.8	0.7	0.8
		3	22.99	1.92	5.9	4.2	0.36	26.6	18.7	1.8	1.5	0.24	22.2	83.6	105	45.3	329	1.5	1.9	1.1
		4	22.24	1.96	5.9	4.2	0.36	18.6	17.0	2.4	3.7	0.25	23.4	SAT	162	35.7	166	2.0	1.6	1.0
	Biochar 8 ton ha ⁻¹	1	23.09	2.00	6.0	5.0	0.43	26.8	21.3	2.8	2.8	0.23	27.1	SAT	115	50.0	329	2.4	1.8	1.1
		2	22.33	1.99	5.9	4.9	0.42	26.4	17.8	2.1	2.4	0.20	22.5	27.1	80	14.4	138	0.5	0.6	0.9
		3	24.09	1.85	6.1	4.5	0.39	22.4	23.6	2.3	1.0	0.23	27.1	SAT	172	42.3	177	1.3	1.7	0.8
		4	23.55	1.69	6.0	4.4	0.38	18.8	19.3	3.5	1.2	0.34	24.3	SAT	118	38.6	176	1.2	1.6	1.2

SAT=saturado; S.B.% = porcentaje de saturación de bases; B.T.=Bases totales

Anexo 2. Consideraciones generales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) para la interpretación de análisis químicos de suelos.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI														
SUBDIRECCIÓN DE AGROLOGÍA - LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS														
CONSIDERACIONES GENERALES PARA INTERPRETAR ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELOS														
pH (H ₂ O)	APRECIACIÓN	P	K	C.O (%)			N.Total (%)			CIC	SATURACIÓN DE BASES (SB)			
		mg Kg ⁻¹		CLIMA			CLIMA							
		(BRAY II)	cmol (+) Kg ⁻¹	FRÍO	MEDIO	CÁLIDO	FRÍO	MEDIO	CÁLIDO			cmol (+) Kg ⁻¹	%	
1:1														
<4.5	BAJO	<15	<0.2	<2.9	<1.7	<1.2	<0.25	<0.15	<0.10	<10	<35			
EXTREMADAMENTE ÁCIDO	MEDIO	15 - 40	0.2 - 0.4	2.9 - 8.1	1.7 - 2.9	1.2 - 2.3	0.26 - 0.50	0.16 - 0.30	0.10 - 0.20	10 - 20	35 - 50			
4.6 - 5.0	ALTO	>40	>0.4	>8.1	>2.9	>2.3	>0.50	>0.30	>0.20	>20	>50			
MUY FUERTEMENTE ÁCIDO	APRECIACIÓN	RELACIONES				CLASIFICACIÓN DE ACUERDO CON SALES Y SODIO			PORCENTAJE SATURACIÓN ACIDEZ INTERCAMBIABLE (S.A.I)	APRECIACIÓN				
5.1 - 5.5		Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K									
FUERTEMENTE ÁCIDO	RELACIÓN IDEAL	2 - 4	3	6	10	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	PORCENTAJE SATURACIÓN SODIO INTERCAMBIABLE (PSI)	CLASE	<15	SIN PROBLEMAS EN GENERAL LIMITANTE PARA CULTIVOS SUSCEPTIBLES				
5.6 - 6.0						dS m ⁻¹								
MEDIANAMENTE ÁCIDO	K DEFICIENTE		>18	>30	>40	0 - 2	INFERIOR	NORMAL	15 A 30	LIMITANTE PARA CULTIVOS MODERADAMENTE TOLERANTES				
6.1 - 6.5						2 - 4		LIMITE						
LIGERAMENTE ACIDO	Mg DEFICIENTE	>10	<1			4 - 8		A				S1		
6.6 - 7.3						8 - 16		15%				S2		
NEUTRO	CONTENIDO OPTIMO	ELEMENTOS MENORES* (mg Kg ⁻¹)				>16		S3	30 A 60	LIMITANTE PARA CULTIVOS TOLERANTES				
7.4 - 7.8		Zn	Cu	Mn	Fe	0 - 4		Na						
LIGERAMENTE ALCALINO	SUELO	3 - 6	1.5 - 3	15 - 30	20 - 30	4 - 8	SUPERIOR	NaS1				>60	NIVELES TÓXICOS PARA LA MAYORIA DE CULTIVOS	
7.9 - 8.4						8 -16		A						
MEDIANAMENTE ALCALINO	PLANTA	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	>16	15%	NaS3						
8.5 - 9.0														
FUERTEMENTE ALCALINO	*Extractables con DTPA en suelos; digestión húmeda en tejido vegetal.							ÁREA DE QUÍMICA						
>9.0	Boro en suelos (extractable en agua caliente): 0.6 - 1.0 mg Kg ⁻¹ .													
EXTREMADAMENTE ALCALINO	Boro en tejido vegetal : 30-80 mg Kg ⁻¹ .													
NC(Nivel Crítico): 25 mg Kg ⁻¹ NO ₃ ; 20 mg Kg ⁻¹ NH ₄ ; 20 mg Kg ⁻¹ S disponible (Fosfato de calcio)														
CONCENTRACION NORMAL EN TEJIDO VEGETAL (Handbook of Reference Methods for Plant Analysis, 1998):														
N (%): 2,5-4,5; P (%): 0,20-0,75; K (%): 1,5-5,5; Ca (%): 1,0-4,0; Mg (%): 0,25-1,0; S (%): 0,25-1,0														
B (mg Kg ⁻¹): 10-200; Cu (mg Kg ⁻¹): 5-30; Fe (mg Kg ⁻¹): 100-500; Mn (mg Kg ⁻¹): 20-300; Zn (mg Kg ⁻¹): 27-100; Mo (mg Kg ⁻¹): 0.10-0.20; Cl (mg Kg ⁻¹): 100-500														

Anexo 3. Análisis microbiológico del suelo de estudio 51 días antes de siembra y antes de aplicación de biochar y 56 días después de siembra y de aplicado el biochar. Los tratamientos biochar 3.5 ton h⁻¹ y biochar 8 ton ha⁻¹ (51 días antes de siembra) no indican que ya tengan biochar adicionado, sino que hacen referencia a las parcelas donde posteriormente se aplicó tal concentración de biochar con el fin de evaluar el antes y el después de la aplicación de biochar.

Tiempo	Tratamiento	Repetición	Abundancia										Salmonella	Fitopatógenos	Hongos
			Hongos	Bacterias heterótrofas	Bacterias tipo actinomiceto	Bacterias fijadoras de nitrógeno	Bacterias solubilizadoras de fosfato	Celulolíticos aerobios	Coliformes totales	Coliformes fecales	E. Coli				
			(UFC/g)						(NMP/g)		(NMP/mL)				
51 días antes de siembra	Control	1	1.5E+04	2.4E+07	7.9E+05	7.8E+06	6.5E+04	1.6E+05	1.6E+02	7.9E+00	0.2	D	ND	Mucor sp. y Penicillium sp.	
		2	1.5E+04	2.4E+07	7.9E+05	7.8E+06	6.5E+04	1.6E+05	1.6E+02	7.9E+00	0.2	D	ND	Mucor sp. y Penicillium sp.	
		3	2.5E+03	1.5E+07	5.7E+05	1.3E+07	1.7E+06	1.9E+05	1.6E+02	1.7E+01	0.2	D	ND	Gongronella sp. y Penicillium sp.	
		4	2.5E+03	1.5E+07	5.7E+05	1.3E+07	1.7E+06	1.9E+05	1.6E+02	1.7E+01	0.2	D	ND	Gongronella sp. y Penicillium sp.	
	Fertilización orgánica	1	1.5E+04	2.4E+07	7.9E+05	7.8E+06	6.5E+04	1.6E+05	1.6E+02	7.9E+00	0.2	D	ND	Mucor sp. y Penicillium sp.	
		2	1.5E+04	2.4E+07	7.9E+05	7.8E+06	6.5E+04	1.6E+05	1.6E+02	7.9E+00	0.2	D	ND	Mucor sp. y Penicillium sp.	
		3	2.5E+03	1.5E+07	5.7E+05	1.3E+07	1.7E+06	1.9E+05	1.6E+02	1.7E+01	0.2	D	ND	Gongronella sp. y Penicillium sp.	
		4	2.5E+03	1.5E+07	5.7E+05	1.3E+07	1.7E+06	1.9E+05	1.6E+02	1.7E+01	0.2	D	ND	Gongronella sp. y Penicillium sp.	
	Biochar 3,5 ton ha ⁻¹	1	1.5E+04	2.4E+07	7.9E+05	7.8E+06	6.5E+04	1.6E+05	1.6E+02	7.9E+00	0.2	D	ND	Mucor sp. y Penicillium sp.	
		2	1.5E+04	2.4E+07	7.9E+05	7.8E+06	6.5E+04	1.6E+05	1.6E+02	7.9E+00	0.2	D	ND	Mucor sp. y Penicillium sp.	
		3	2.5E+03	1.5E+07	5.7E+05	1.3E+07	1.7E+06	1.9E+05	1.6E+02	1.7E+01	0.2	D	ND	Gongronella sp. y Penicillium sp.	
		4	2.5E+03	1.5E+07	5.7E+05	1.3E+07	1.7E+06	1.9E+05	1.6E+02	1.7E+01	0.2	D	ND	Gongronella sp. y Penicillium sp.	
	Biochar 8 ton ha ⁻¹	1	1.5E+04	2.4E+07	7.9E+05	7.8E+06	6.5E+04	1.6E+05	1.6E+02	7.9E+00	0.2	D	ND	Mucor sp. y Penicillium sp.	
		2	1.5E+04	2.4E+07	7.9E+05	7.8E+06	6.5E+04	1.6E+05	1.6E+02	7.9E+00	0.2	D	ND	Mucor sp. y Penicillium sp.	
		3	2.5E+03	1.5E+07	5.7E+05	1.3E+07	1.7E+06	1.9E+05	1.6E+02	1.7E+01	0.2	D	ND	Gongronella sp. y Penicillium sp.	
		4	2.5E+03	1.5E+07	5.7E+05	1.3E+07	1.7E+06	1.9E+05	1.6E+02	1.7E+01	0.2	D	ND	Gongronella sp. y Penicillium sp.	
56 días después de siembra	Control	1	4.2E+04	1.6E+07	1.7E+06	8.1E+08	1.6E+05	4.1E+05	3.3E+00	1.8E+00	1.8	ND	Fusarium oxysporum y el posible controlador Trichoderma viridae	-----	
		2	7.5E+04	6.1E+07	1.5E+06	3.4E+08	1.6E+05	4.2E+05	1.6E+02	1.8	1.8	D	Fusarium oxysporum	-----	
		3	3.6E+04	1.9E+07	1.4E+06	3.4E+08	4.0E+05	3.9E+05	1.6E+03	1.8E+00	1.8	D	Fusarium solani	-----	
		4	1.2E+05	1.9E+07	1.3E+06	1.9E+08	1.9E+05	4.2E+05	5.2E+01	1.8E+00	1.8	ND	Fusarium solani	-----	
	Fertilización orgánica	1	8.1E+04	1.7E+07	2.3E+06	1.7E+08	3.6E+05	3.7E+05	1.6E+02	1.8E+00	1.8	ND	Fusarium semitectum / Fusarium oxysporum	-----	
		2	1.0E+05	1.0E+07	1.4E+06	2.6E+07	3.5E+05	3.6E+05	3.5E+02	1.8E+00	1.8	D	Fusarium oxysporum	-----	
		3	3.8E+04	9.6E+06	8.8E+05	1.4E+07	9.1E+04	3.6E+05	2.4E+02	1.8E+00	1.8	D	Fusarium oxysporum y el posible controlador Trichoderma viridae	-----	
		4	8.4E+04	1.7E+07	1.4E+06	2.2E+08	1.5E+05	5.9E+05	1.4E+02	1.80E+00	1.8	ND	Fusarium oxysporum var. Redolens	-----	
	Biochar 3,5 ton ha ⁻¹	1	6.9E+04	6.9E+08	1.2E+06	2.8E+08	1.5E+05	4.1E+05	1.6E+02	160.0	2.0	D	Fusarium moniliforme	-----	
		2	8.2E+04	4.9E+07	8.1E+05	5.3E+07	1.8E+06	2.1E+05	1.6E+02	1.8	1.8	ND	Fusarium oxysporum	-----	
		3	8.3E+04	1.6E+07	1.3E+06	5.0E+08	1.9E+05	2.3E+05	1.6E+02	110.0	1.8	ND	Fusarium oxysporum/ Fusarium moniliforme	-----	
		4	1.9E+05	6.6E+08	6.6E+05	3.7E+08	8.6E+04	4.6E+05	1.6E+02	27.0	1.8	ND	Fusarium oxysporum	-----	
	Biochar 8 ton ha ⁻¹	1	4.3E+04	5.5E+07	1.2E+06	3.6E+08	1.1E+05	2.6E+05	1.6E+02	1600.0	1.8	D	Fusarium oxysporum	-----	
		2	5.2E+04	1.4E+07	1.4E+06	1.9E+08	8.2E+04	2.1E+05	1.6E+02	13.0	1.8	ND	Rhizoctonia solani y Fusarium tricinctum	-----	
		3	5.5E+04	1.2E+07	8.3E+05	2.6E+08	9.0E+04	1.3E+05	1.6E+02	1.4	1.8	ND	Verticillium albo-atrum y el posible controlador Trichoderma viridae	-----	
		4	4.8E+04	6.7E+07	1.2E+06	1.6E+08	1.1E+05	2.2E+05	4.3E+02	17.0	1.8	ND	Fusarium oxysporum	-----	